



Université d'Abomey Calavi-université Montpellier 2

Master International d'Entomologie Médicale et Vétérinaire
Année 2011-2012

Rapport de stage :

**INFORMATION SPATIALE ET EPIDEMIOLOGIE DES MALADIES
VECTORIELLES : DEVELOPPEMENT D'UNE METHODE DE
CARTOGRAPHIE DES ZONES A RISQUE DE LEISHMANIOSE
CUTANEE, GHARDAÏA-ALGERIE**

Présenté par : Rafik GARNI

**Sous la direction de : Dr Annelise TRAN
Dr Hélène GUIIS**



Remerciement

Je remercie Annelise Tran pour sa disponibilité, suivi, présence, gentillesse, générosité..et la liste est longue

Mes remerciements aussi à Thierry Baldet qui m'a soutenu et aidé et m'a permis de vivre cette aventure qu'est le MIE.

Je remercie aussi Hélène Guis d'avoir accepté de me co-encadrer

Merci aussi à Nadine Dessay pour ces conseils.

Merci à Vincent Jamonneau pour ses conseils en THA.

Un grand grand merci à Florence Fournet qui grâce à elle le MIE continue, et au Staff

Felix, Narcisse et tout les profs qui nous ont beaucoup appris ...et examinés....

Merci Jean-Philippe tonneau et tout le personnel de la MTD pour l'accueil et l'ambiance

Je remercie la direction des affaires étrangères de l'institut pasteur de Paris pour avoir financé ce master

Dédicaces

A mon père qu'est là haut..

A ma mère, mes sœurs et mon frère

A mon vieil ami k-mel

A elle...

A mes collègues de l'Institut Pasteur d'Algérie et du Service d'Eco épidémiologie parasitaire qui m'ont soutenu et aidé.

A mes amis de promo surtout : Jorian, Hadrien, Slimane, Gildas, Sandji, Elves (le groupe 1 héhé!!)

Au amis de la MTD : et par ordre d'apparition : à jeannette & Sergio d'abord

Amandine (à prononcer avec l'accent du sud)

Anais la future Ronaldho

Judicael le ménestrel

Ibrahim le sage

Alex do Brazil

Léna...Léna tout simplement

Nicolas la Masse !!

Felix l'orange

Vicky la ponneyeuse

Diana...Entre site ?? Nooooooooooooooooooooooooooooo

Murielle..Mumu

Ghina

Lenda...

Sai

Silver

Rolland de suisse

Thoma

Walid

Merci jean Claude !

Merci pizza domino, merci l'oasis, merci les happy hours

À la colloc du 195!

Table des matières

1	Introduction	2
1.1	Les leishmanioses	2
1.2	Les leishmanioses en Algérie.....	3
1.3	Objectifs du stage.....	4
2	Materiel et méthodes.....	5
2.1	Présentation de la zone d'étude.....	5
2.2	Données.....	5
2.2.1	Données épidémiologiques.....	5
2.2.2	Données entomologiques	6
2.2.3	Imagerie satellite	7
2.2.4	Données d'élévations	7
2.3	Méthodes.....	8
2.3.1	Prétraitements des images	9
2.3.2	Calcul d'indices spectraux.....	9
2.3.2.1	Indices de végétation.....	9
2.3.2.2	L'indice de brillance	10
2.3.2.3	Indice d'humidité	10
2.3.2.4	Indice d'urbanisation	11
2.3.2.5	Calcul des pentes.....	11
2.3.3	Seuillage des indices multispectraux pour l'identification des classes Végétation, et zones urbaines.....	12
2.3.4	Classification des sols	12
2.3.5	Création d'un arbre de décision pour la classification de l'image SPOT.....	13
2.3.6	Validation de la classification	13
2.3.7	Elaboration des cartes de risque à partir de la classification de l'occupation du sol... 14	
2.3.7.1	Détermination du risque de leishmaniose cutanée à Ghardaïa.....	14
3	Résultats.....	15
3.1	Evaluation des indices dérivés de l'image SPOT	15
3.1.1	Indices de végétation	15
3.1.2	Indices de texture	16
3.2	Validation de la classification	16
3.3	Aléa, vulnérabilité et risque	16
3.3.1	Habitats des rongeurs et les vecteurs associés.....	16
3.3.2	Validation des cartes d'aléa et de risque :	18
3.3.2.1	Données entomologiques et cartes d'habitats des vecteurs.....	18
3.3.2.2	Données épidémiologiques et cartes de risque de LC.....	18
4	Discussion et perspectives	18
5	Conclusion	20
6	Bibliographie	21
7	Annexes	24
8	Etude du rôle réservoir des animaux domestiques dans le maintien de la transmission de la THA dans la région de Bonon en Côte d'Ivoire.....	30
8.1	Introduction.....	30
8.2	Objectif	30
8.3	Matériel et méthodes :.....	31
8.3.1	Zone d'étude:.....	31
8.4	Résultats attendus :	33
8.5	Perspectives :	34
8.6	Références Bibliographiques :	34

Résumé

Les leishmanioses comptent parmi les maladies vectorielles ré émergentes les plus importantes et sont endémiques dans plus de 80 pays (Dedet, 1999). La leishmaniose cutanée (LC) est endémique en Algérie où deux formes sont classiquement décrites (Harrat et al, 1996), la forme sporadique causée par *Leishmania infantum* dans le nord et la forme cutanée causée par *L. major* dans les parties centrale et méridionale du pays.

En 2005, une épidémie de LC a eu lieu dans la province de Ghardaïa, située dans le nord du Sahara. 2040 cas ont été enregistrés lors de cette épidémie, dont plusieurs en zone urbaine, et un nouveau variant enzymatique a été décrit : *Leishmania killicki* (Mon-301) (Harrat, 2009). Cette espèce est sympatrique avec *L. major* MON-25 dans la région de Ghardaïa où elles sont transmises respectivement par *Phlebotomus sergenti* et *P. papatasi*, ce qui suggère un mode de propagation propre à chaque parasite. L'objectif de ce travail est d'établir une carte de risque des deux formes de leishmaniose cutanée dans la région de Ghardaïa par analyse d'images satellites SPOT. Ces cartes de risque sont confrontées aux données entomologiques et épidémiologiques collectées sur terrain.

Mots clés : leishmaniose, Ghardaïa, Algérie, *Leishmania major*, *Leishmania killicki*, télédétection, Système d'Information Géographique, carte de risque.

Abstract

The leishmaniasis are the most important vector-borne diseases re-emerging, endemic in 80 countries (DEDET. JP1999). Cutaneous leishmaniasis (CL) is endemic in Algeria where two forms have been described previously (Harrat, 1996), the sporadic form caused by *Leishmania infantum* in the north and the cutaneous form caused by *L. major* in central and southern parts of the country. In 2005, an outbreak of CL occurred in the province of Ghardaia, located in the northern Sahara. 2,040 cases were recorded, among whom many in urban areas, and a new enzyme variant has been described: *Leishmania killicki* (Mon-301) (Harrat, 2009). This species coexists sympatrically with *L. Major* MON-25. The two species are transmitted respectively by *Phlebotomus sergenti* and *P. papatasi*, suggesting specific distribution area for each parasite. The aim of this study is to establish risk maps of the two CL forms in Ghardaia region based on the analysis of SPOT imagery. Final risk maps are then compared to entomologic and epidemiologic field data.

Keywords: leishmaniasis, Ghardaia, *Leishmania major*, *Leishmania killicki*, remote sensing, Geographic Information System, risk mapping

1 Introduction

1.1 Les leishmanioses

Les leishmanioses sont des parasitoses dues à des protozoaires du genre *Leishmania* (Boussaa, 2008) ayant en commun :

- L'épidémiologie : elles sont transmises à l'homme par la pique d'un diptère, le phlébotome. (Dedet, 1999), plusieurs espèces sont vectrices, avec une spécificité vecteur-parasite étroite ;
- La physiopathologie : les leishmanies infectent les phagocytes mononucléaires de l'hôte ;
- La thérapeutique : les mêmes médicaments sont utilisés pour les soigner, il s'agit de dérivés antimonisés, (Glucantime), ou d'autres médicaments comme la pentamidine, amphotéricine B.

Ce sont des affections cosmopolites, présentes dans près de 88 pays dont la grande majorité est en voie de développement. Les leishmanioses peuvent prendre trois grandes formes cliniques : la forme cutanée, la forme viscérale, et la forme cutanéomuqueuse (Tableau I)

Sous genre	Sous genre <i>Leishmania</i>		Sous genre <i>Viannia</i>	
Ancien monde	<i>L.donovani</i> <i>L.infantum</i>	<i>L.major</i> <i>L.tropica</i> <i>L.aethiopica</i>		
Nouveau monde	<i>L.infantum</i>	<i>L.mexicana</i> <i>L.amazonensis</i>	<i>L.guyanensis</i> <i>L.panamensis</i> <i>L.shawi</i> <i>L.naiffi</i> <i>L.lansoni</i> <i>L.peruviana</i>	<i>L.braziliensis</i>
Forme clinique	Viscéral	Cutanée		Muqueux

Tableau I : espèces de leishmania et signes cliniques correspondants

Le parasite

Il s'agit d'un protozoaire flagellé, de différentes espèces mais de morphologie identique, qui présente deux stades évolutifs distincts : le stade amastigote chez l'hôte vertébré et le stade promastigote chez le vecteur.

Le vecteur

Le vecteur est un phlébotome, insecte diptère, nématocère, psychodidea, phlebotominea, de taille inférieure à celle d'un moustique (3 mm) (Annexe 1). Son corps est velu et bossu, ses larves sont terricoles. Seules les femelles sont hématophages et peuvent être parasitées lors d'un repas sanguin. Le biotope des phlébotomes est variable selon l'espèce mais toujours influencé par la température, l'humidité et les besoins trophiques. (Dedet et al, 1984)

Il existe une spécificité très étroite entre l'espèce phlébotomienne et le parasite (Kamhawi, 2000).

Le réservoir

Le cycle évolutif des leishmanies peut mettre en jeu un réservoir qui est un mammifère domestique ou sauvage, dont l'espèce varie selon le type de leishmaniose (Dereure, 1999)

Cycle de transmission

Le mode naturel de transmission de la leishmaniose est la piqûre infectante du phlébotome lors des repas sanguins chez l'hôte vertébré.

Le parasite subit alors des changements dans le tube digestif du vecteur et aboutit à la forme promastigote présente au niveau du pharynx de l'insecte. Chez l'hôte vertébré, les promastigotes subissent une transformation et deviennent amastigotes qui se multiplient dans les cellules du système réticulo-histiocytaire qui finissent par éclater et libérer les formes amastigotes, celles-ci vont être phagocytées par d'autres cellules. (Leger et Depaquit., 1999).

Selon la présence ou l'absence du réservoir on distingue (Figure1):

- le cycle anthroponotique dont seul l'homme joue le rôle d'hôte et de réservoir à la fois (cas de *Leishmania donovani*) (Carré et al, 2010)
- le cycle zoonotique mettant en jeu un réservoir mammifère, comme les rongeurs dans le cas de *Leishmania major* (Belazzoug, 1983)

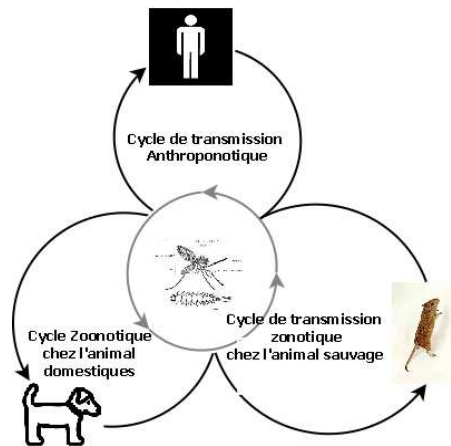


Figure 1 : cycles de transmission des leishmanioses d'après J.P. Dedet

1.2 Les leishmanioses en Algérie

En Algérie deux formes cliniques de la leishmaniose sévissent :

- La forme viscérale

Causée par *L. infantum* variant MON-1 et transmise par *P. perniciosus*, elle sévit dans le nord du pays, elle touche essentiellement les enfants en bas âge et les sujets dont l'immunité est faible comme les personnes séropositives. Le réservoir de la leishmaniose viscérale est le chien (Benikhlef, 2004).

▪ La leishmaniose cutanée (trois formes de LC) :

- la leishmaniose cutanée du nord à *L. infantum* MON-24, transmise par *P. perfoliatus* (Benikhlef, 2004) ;
- la leishmaniose cutanée zoonotique à *L. major* transmise par *P. papatasi* et dont les réservoirs sont des rongeurs sauvages désertiques (*Meriones shawi*, *Psammomys obesus*) (Belazzoug, 1983) (Harrat et al, 1996)
- la leishmaniose cutanée à *L. killicki* : décrite récemment dans le sud de l'Algérie dans la région de Ghardaïa (Harrat, 2009), et transmise par *P. sergenti* (Boubidi, 2011).

L'Algérie compte parmi les pays les plus exposés, la leishmaniose y est un réel problème de santé publique, avec un coût économique élevé pour les autorités de part la politique de gratuité des soins médicaux et de prix élevé du médicament utilisé (Glucantime). Le relâchement des campagnes de lutte antivectorielle a eu pour conséquence une épidémie de leishmaniose en 2005 avec plus de 30000 cas déclarés (Harrat, 2009), et l'extension de la maladie à tout le territoire national. Aujourd'hui seuls quatre wilayas (départements) ne déclarent aucun cas (Adrar, Mostaganem, Aïn Temouchent et Relizane).

1.3 Objectifs du stage

La télédétection, par l'exploitation de l'information spectrale contenue dans les images satellites, permet de décrire des conditions environnementales, en particulier l'occupation du sol. L'objectif de ce stage est donc d'utiliser l'imagerie satellite SPOT pour définir les niches écologiques des vecteurs et réservoirs des deux formes de leishmaniose cutanée dans la région de Ghardaïa en cartographiant les variables environnementales qui permettent de décrire les habitats des différentes espèces de vecteurs et de réservoirs de la LC, et de créer les cartes d'alea et de risque de sa transmission.

Le présent stage entre dans le cadre du projet ATP Emergence (Action thématique prioritaire) du CIRAD qui contribue à définir et identifier les déterminants liés aux émergences, à l'élaboration de modèles et de scénarios dans la cadres des maladies infectieuses, et à améliorer l'efficacité des réseaux de surveillance épidémiologiques en Méditerranée, Afrique Australe et l'Asie du Sud-Est.

2 Matériel et méthodes

2.1 Présentation de la zone d'étude

Ghardaïa se situe dans la région du M'Zab, dans la partie centrale du Nord du Sahara, à 500 km à vol d'oiseau au sud d'Alger. C'est un plateau calcaire présentant des vallées et des ravins qui s'enchevêtrent les uns dans les autres (Boukraa, 2009). Ghardaïa est une région désertique qui couvre une superficie de 86 650 km² située entre 1° et 5° de longitude Est (environ 200 km) et 31°30' et 33° de latitude Nord (environ 450 km), elle comprend 13 communes dont la principale est Ghardaïa, chef lieu du département (Figure 2). Le climat est de type aride et le couvert végétal est pauvre, les précipitations sont faibles et irrégulières. La température mensuelle moyenne est maximale en juillet (36°C) et minimale au mois de janvier (12°C). (Harrat 2009).

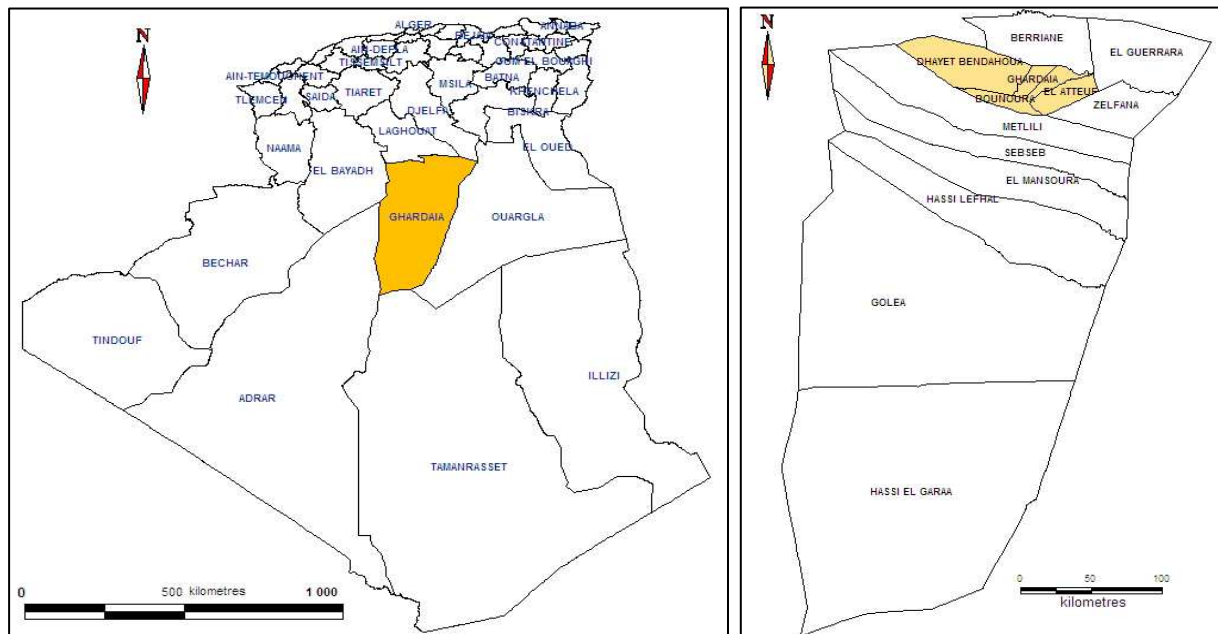


Figure 2 : situation géographique de la wilaya (département) de Ghardaïa et ses communes (en orange : communes de la zone d'étude)

2.2 Données

2.2.1 Données épidémiologiques

Le diagnostic se fait à partir de grattage sur les lésions suspectes, puis observés après coloration au GIEMSA sous microscope optique, le prélèvement est positif si la présence de d'amastigotes est confirmée, cependant seule la biologie moléculaire permet de distinguer entre *L.major* et *L.killicki*.

Une fiche est remplie indiquant les informations du malade (âge, sexe, adresse (quartier)).

Les données épidémiologiques ont été collectées à partir des registres du service d'Épidémiologie et du service de la prévention de la wilaya de Ghardaïa sur une durée de 4 ans (2004-2007). Par manque d'information sur l'adresse exacte du malade, sa localisation est rapportée au quartier à l'aide d'un récepteur GPS : 40 quartiers géo-référencés correspondent aux localisations des malades (Figure 3). Les cas situés en dehors de la wilaya n'ont pas été considérés dans cette étude.

2.2.2 Données entomologiques

Le piégeage des phlébotomes se fait par la technique du papier huilé pour l'identification des espèces et l'estimation de la densité phlébotomienne, et la technique de capture par pièges lumineux CDC pour l'identification d'espèces et la recherche des parasites.

Les captures ont été réalisées du mois de mai au mois de juillet et du mois de septembre au mois de novembre correspondant à la période d'activité des phlébotomes.

15 points de captures de phlébotomes ont été géo-référencés (Figure 3), dans des grottes en altitude, dans les maisons, dans des barbacanes (fente verticale pratiquée dans un mur de soutènement pour faciliter l'écoulement des eaux d'infiltration provenant de la masse de terre soutenue) et dans des écuries.

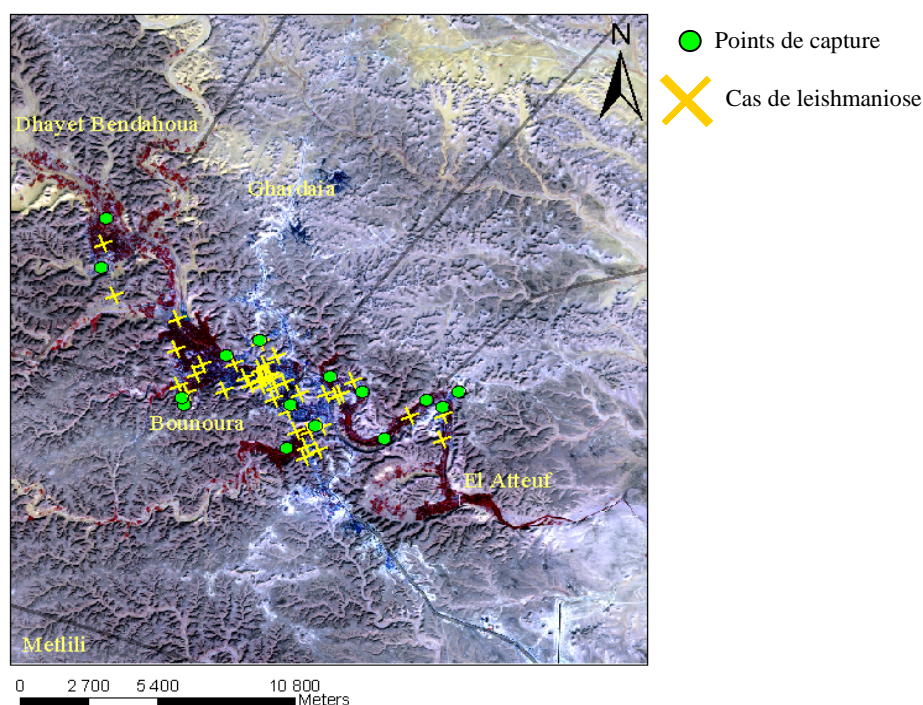


Figure 3 : Localisation des points de captures des phlébotomes et des cas de leishmaniose cutanée dans la région d'étude

2.2.3 Imagerie satellite

Trois images SPOT-5 ont été acquises pour ce stage dans le cadre du projet ATP Emergence du CIRAD, et ont bénéficié du programme ISIS (incitation à l'utilisation scientifique des images SPOT) du CNES (centre national d'études spatiales) (Annexe 2, tableau 1).

Les images satellites offrent la possibilité d'extraire des informations variées (végétation, humidité etc.) (Soti, 2009). Les capteurs optiques embarqués à bord des systèmes d'observation de la terre mesurent l'énergie électromagnétique réfléchi par terre, et permettent de calculer la réflectance, correspondant au rapport de l'intensité du rayonnement réfléchi par une surface à celle du rayonnement incident, grandeur sans dimension, exprimée généralement en pourcentage.

Chaque type d'occupation du sol possède une signature spectrale propre permettant sa détection (Annexe 2, Figure 1), par exemple à partir d'un calcul d'indice.

En télédétection, ces indices font parties des méthodes de traitement que l'on appelle les transformations multispectrales. Ils consistent à convertir les luminances (intensité de l'énergie électromagnétique émise et réfléchi par un objet) mesurées en grandeurs ayant une signification dans le domaine de l'environnement. Tous les indices, que ce soient les indices de végétation, de sols, etc., reposent sur une approche empirique basée sur des données expérimentales. (Guyot, 1989). Le traitement numérique des images est réalisé à l'aide de logiciels de traitements d'images de télédétection comme ENVI.

2.2.4 Données d'élévations

Un modèle numérique de terrain (MNT) est une représentation de la topographie (altimétrie et/ou bathymétrie) d'une zone terrestre sous une forme adaptée à son utilisation par un ordinateur numérique. Les MNT sont des fichiers de données qui contiennent l'élévation du terrain sur une zone déterminée, généralement à un intervalle de grille fixe. Les intervalles entre chacun des points de grille sont dans un système de coordonnées géographique.

Le MNT utilisé est issu des données SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) de l'agence spatiale américaine NASA et a été téléchargé via le logiciel Global Mapper (<http://www.blumablegeo.com/global-mapper/>). Le MNT permet de dessiner les pentes des montagnes et les reliefs. Les données extraites ont une résolution spatiale de 90 mètres.

2.3 Méthodes

La méthodologie développée est basée sur la classification des éléments qui modulent le biotopes des vecteurs et réservoir de la leishmaniose (végétation, type de sols, humidité du sol, tissu urbain) et ceci à partir d'indices spectraux et texturaux calculés à partir des images SPOT. L'évaluation de ces indices est effectuée par confrontation avec des points de référence. Cette classification permettra de déterminer les biotopes des vecteurs et réservoir associés et d'en déterminer l'aléa (Vecteur * Réservoir) et le risque (Aléa* vulnérabilité, la vulnérabilité étant définie comme les zones urbaines). Les données épidémiologiques et entomologiques serviront pour valider respectivement des cartes de risques et d'habitat du vecteur (Figure 4).

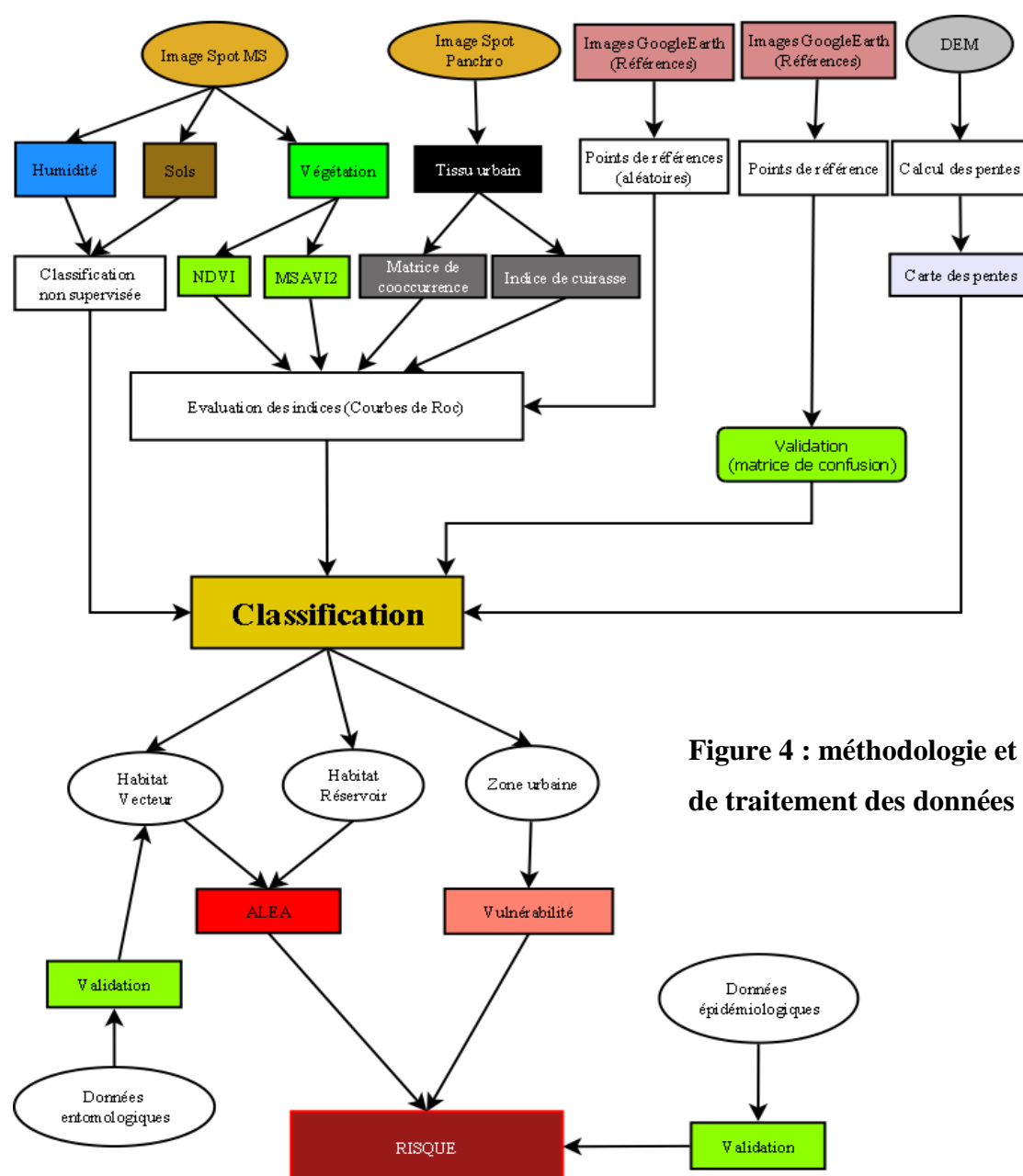


Figure 4 : méthodologie et chaîne de traitement des données

2.3.1 Prétraitements des images

Les images brutes reçues sont un ensemble de bandes spectrales codées chacune en valeur comprise entre 0 et 255 (compte numérique), la correction radiométrique consiste à corriger l'effet de l'atmosphère et convertir ces valeurs de compte numérique en réflectance

Nous avons procédé à la correction radiométrique des images SPOT à partir des informations sur le capteur à la date de la prise de l'image : (type du capteur, jour et heure de prise, angle d'élévation solaire...), en utilisant la fonction SPOT calibration sous ENVI.

Une vérification de l'image par rapport à des images à très haute résolution spatiale (GoogleEarth) nous a permis de conclure que des corrections géométriques n'étaient pas nécessaires.

2.3.2 Calcul d'indices spectraux

Pour caractériser l'habitat des différentes espèces vectrices des *Leishmania* ainsi que de leurs réservoirs, plusieurs indices ont été calculés à partir de l'image SPOT d'Octobre 2004 :

2.3.2.1 Indices de végétation

La composition multispectrale des images spot utilisées (bandes : vert, rouge, proche infrarouge et moyen infrarouge), permet d'extraire les informations sur le couvert végétal. Plusieurs indices de végétation sont disponibles (Bannari, 1995), et utilisent généralement les bandes rouge et proche infrarouge de l'image pour détecter l'activité chlorophyllienne. Deux indices ont été testés : NDVI et MSAVI2

2.3.2.1.1 Le NDVI

Cet indice, très largement utilisé en télédétection (Rouse et al, 1974), utilise la différence normalisée des réflectances des bandes rouge et proche infrarouge de l'image satellite. Son utilité pour décrire le couvert végétal se base sur le fait que d'une part ce dernier absorbe préférentiellement l'énergie lumineuse dans les longueurs d'onde du rouge pour la photosynthèse, et réfléchit par contre fortement cette énergie dans le proche infrarouge, en fonction de la structure inter-cellulaire du matériel végétal photosynthétisant (Bartholomé, 1994). Le NDVI est un indice normalisé (Equation 1), ses valeurs varient entre -1 et +1

$$NDVI = \frac{Pir - R}{Pir + R} \quad (\text{Equation. 1 Formule du NDVI})$$

Avec PIR et R les réflectances dans le proche infrarouge et le rouge respectivement.

2.3.2.1.2 Le MSAVI2

L'indice de Végétation modifié ajusté aux sols (MSAVI2) est une modification du NDVI (Qi, 1994). Cet indice tient compte des zones qui ont un couvert végétal faible (<40%). Les images issues de ces zones ont une grande quantité de réflectance de la surface du sol et d'autres matières et donc la réponse de chaque pixel n'est pas pure à cause de la combinaison de plusieurs objets (sol et la végétation) au sein d'un même pixel. Le MSAVI2 est particulièrement utile pour les zones hétérogènes qui ont des coefficients de luminosité du sol différents. (Equation 2)

$$MSAVI2 = \frac{2Pir + 1 - \sqrt{(2Pir + 1)^2 - 8(Pir - R)}}{2} \quad (\text{Equation. 2 Formule du MSAVI2})$$

N'étant pas normalisé comme le NDVI, le MSAVI2 n'est pas borné, les minimum et maximum sont variables.

2.3.2.2 L'indice de brillance

Cet indice traduit les changements de teinte des sols nus et roches, le passage des teintes sombre et teintes claire s'accompagne d'une augmentation des valeurs spectrale de cet indice (Equation3), Les sols rocheux apparaissent de couleurs sombres et les sols nus sableux ou meubles sont clairs (annexe)

$$IB = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n X_i^2}}{n} \quad (\text{Equation.3 Formule de l'indice de brillance})$$

Avec X_i la réflectance de la bande i et n le nombre de bandes

2.3.2.3 Indice d'humidité

La méthode utilisée pour la détection et la classification des zones humides est la méthode de la transformation « Tasseled Cap » appliquée sur l'image satellite (Crist, 1984). Cette transformation est utilisée pour rehausser les informations de trois principaux éléments biophysiques d'une zone donnée, soit l'eau, le sol et la végétation. Le résultat est un set d'indices : végétation, brillance et humidité. Cette transformation s'applique généralement sur les images Landsat. Pour l'appliquer à la scène SPOT nous avons utilisé les coefficients du capteur Landsat MSS qui comportaient les mêmes bandes spectrales que SPOT (Nguessan et al, 2003) (Evits2008).

$$\text{Indice Humidité} = 0.223B1 + 0.012B2 + (-0.543B3) + 0.81B4$$

(Equation. 4 coefficients de l'indice d'humidité de la transformation de TasseledCap)

Avec B1: vert, B2 : rouge, B3 : proche infrarouge, B4 moyen infrarouge

2.3.2.4 Indice d'urbanisation

2.3.2.4.1 Indice de texture basé sur le calcul de la matrice de cooccurrence des niveaux de gris

En télédétection la texture désigne la fréquence de variation et la disposition des nuances de niveaux de gris, cette information permet par exemple de différencier des surfaces homogènes de surfaces hétérogènes.

Les indicateurs de texture dérivés des matrices de cooccurrence (Haralick, 1973) sont les plus utilisées en télédétection (Belhadj-Aissa, 2000). La matrice de cooccurrence permet le calcul de plusieurs indices comme le contraste, la variance, la corrélation, ou la différence d'entropie qui traduisent le degré d'homogénéité de l'image, permettent ainsi de détecter la présence de structure dans l'image (bâtiments par exemple). Nous avons utilisé **l'indice de variance** pour détecter le tissu urbain à partir de l'image panchromatique.

2.3.2.4.2 Indice de cuirasse (IC)

Cet indice permet de différencier les surfaces bâties et les sols nus, il utilise les bandes verte et rouge (Equation 5). Les surfaces végétales et aquatiques apparaissent en noir (faibles valeurs de l'indice) alors que les surfaces minéralisées apparaissent en gris clair ou en blanc, les minimum et maximum de cet indice sont variable selon la composition de l'image traitée, cet indice est intéressant surtout quand le bâti est entouré de végétations (maisons dans les palmeraies).

$$IC = (3 * V) - R * 100$$

Equation.5 Formule de l'indice de cuirasse Avec V : bande verte, R : bande rouge

2.3.2.5 Calcul des pentes

Selon les travaux de Gouat (Gouat, 1984), l'habitat des rongeurs *Massoutiera mzabi* paraît être conditionné par la disponibilité d'abris rocheux et d'éboulis de roches en bordures des lits de rivières, avec une pente de 30°. Nous avons donc utilisé le fichier d'élévation pour en extraire les pentes avec le logiciel ENVI, en utilisant l'outil Topographic modeling qui permet d'extraire les pentes du fichier d'élévation, nous avons utilisé un seuil de pente de 10° à cause de la faible résolution du fichier d'élévation (90 mètres) qui ne permettait pas la détection des éboulis de roches.

2.3.3 Seuillage des indices multispectraux pour l'identification des classes Végétation, et zones urbaines

La validation des indices et le seuillage ont été réalisés sur le principe de création de jeux de points aléatoires qui seront comparés avec une réalité terrain, n'ayant pas de données prises sur place, nous avons utilisé GoogleEarth comme outil de comparaison (Venard et al, 2010) (Cinnamon Schuurman, 2010). Grace à l'option « Timeline », il est possible de visualiser des images d'anciennes dates, correspondant à la date de la prise de la scène par le satellite SPOT. La sélection des points a été réalisée aléatoirement (120 points par classe) sur les indices à tester avec l'outil «Random point» sur ArcGis, on procède à l'extraction des valeurs des points en fichier KMZ (fichier GoogleEarth). Les classes pour lesquelles la validation a été faite sont les classes végétation tissu urbain qui sont aisément identifiable sur GoogleEarth. La validation des valeurs des points est de type logique (Vrai/faux) l'ensemble des observations est rapporté dans un tableau pour tracer la courbe de ROC (Receiver Operator Characteristic) qui permettra d'identifier l'indice le plus performant et son seuil de discrimination. La courbe ROC (Metz, 1978) est une méthode de représentation graphique des performances d'un classifieur à deux classes. Depuis plusieurs années, son utilisation est devenue incontournable dans les méthodes d'évaluations (Park et al, 2004). La courbe ROC représente la relation entre la sensibilité et la spécificité (Equation 6) pour toutes les valeurs seuils possibles (Annexe 3, Figure 2). Nous avons utilisé XLstat pour son calcul. Le tracé de la courbe permet d'estimer l'aire sous la courbe (AUC) reflétant les performances du test et calculer le seuil du test ou de l'indice évalué (Delancourt et al, 2005)

$$\begin{aligned} \text{Sensibilité} &= \frac{VP}{VP + FN} \\ \text{Spécificité} &= \frac{VN}{VN + FP} \end{aligned}$$

Equation.6: spécificité et sensibilité d'un test
Avec VP : Vrais positif, FN : Faux négatifs, VN : vrais négatifs, FP : Faux positifs

2.3.4 Classification des sols

Par manque de données de référence de terrain sur l'humidité et le type de sol, une approche par classification non supervisée a été appliquée :

- à l'indice de brillance afin de séparer en deux classes les sols nu rocheux et les sols meubles (sable, terre, ...etc)
- à l'indice d'humidité pour distinguer 3 classes (humide, moyennement humide et aride).

La classification non supervisée est une méthode utilisée pour classer statistiquement les pixels d'une image sans se référer à des parcelles ou des point de référence (régions d'intérêt).

L'utilisateur détermine le nombre de classes à créer et spécifie la distance entre les classes et la variance à l'intérieur d'une même classe. Il existe sous ENVI deux algorithmes de classifications non supervisées : ISODATA et K-Means. Nous avons utilisé l'algorithme de classification K-Means pour laquelle l'utilisateur spécifie le nombre de classes fixes plutôt qu'un intervalle de classes.

2.3.5 Création d'un arbre de décision pour la classification de l'image SPOT

L'extraction des différents indices permet d'établir une classification dichotomique de l'image, à partir des seuils d'indices est réalisée sous ENVI grâce à la fonction Decision Tree (Figure 5).

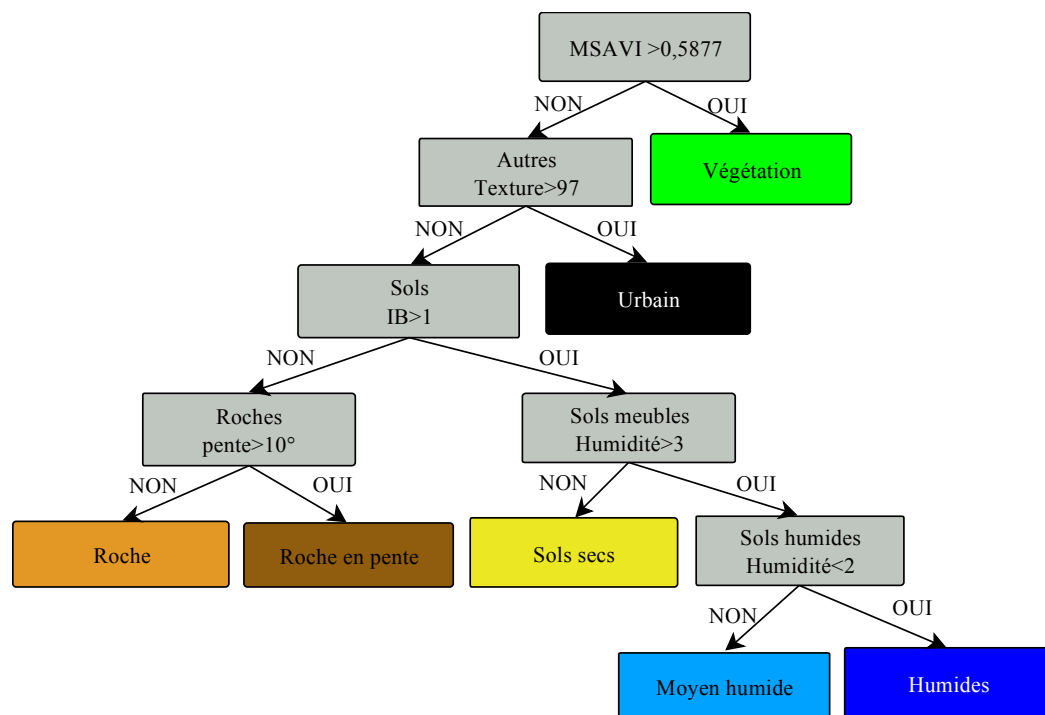


Figure 5 : Arbre de décision de la classification

2.3.6 Validation de la classification

Une matrice de confusion ou tableau de contingence sert à évaluer la qualité d'une classification. Elle est obtenue en comparant les données classées avec des données de référence qui doivent être différentes de celles ayant servi à réaliser la classification. Les données de référence sont acquises sur le terrain ou proviennent de photographies aériennes, de cartes thématiques...

Pour permettre une comparaison, dans notre cas nous avons pris comme précédemment décrit (2.3.1.) les points de référence depuis GoogleEarth®. Le nombre points de contrôle doit être suffisant et, si possible, de même importance dans chaque classe pour que la comparaison ait

un sens. Si cela n'est pas possible, il faut prendre un plus grand nombre de points de contrôle pour les classes qui ont le plus d'importance thématique. (Caloz R., Collet C., 2001) (Sparfel et al, 2008). L'évaluation de la performance de classification se fait par le calcul de l'indice Kappa (Cohen 1960) (Bergeri, 2002). La concordance entre la classification et les données de validation est d'autant meilleure que cet indice est proche de 1.

2.3.7 Elaboration des cartes de risque à partir de la classification de l'occupation du sol

Afin de produire une carte de risque de la leishmaniose cutanée dans la région de Ghardaïa, nous nous sommes basés sur le cycle de transmission des deux formes de LC (*L.major* et *L.killicki*) afin de prédire les niches écologiques de chaque vecteur et chaque réservoir intervenant dans le cycle :

- Le cycle de transmission de la leishmaniose à *L.major* met en jeu le vecteur (*P.papatasi*) (IZRI, 1992) et comme réservoir des psammomys, meriones, gerbilles ;
- le cycle de transmission de la leishmaniose à *L.killicki* fait intervenir le vecteur *P.sergenti* (Boubidi, 2010), et probablement le rongeur *M.mzabi* (Harrat 2008, Boubidi, 2010)

Le tableau III résume les variables environnementales utilisées pour déterminer l'aire de distribution de chaque élément des deux cycles. L'outil Model builder sous ArcGis (annexe 4) a été utilisé pour élaborer les cartes d'Aléa et de risque.

2.3.7.1 Détermination du risque de leishmaniose cutanée à Ghardaïa

L'alea détermine le risque encouru si les éléments du cycle de transmission de la leishmaniose sont présents (vecteurs et réservoirs) dans le même endroit. Cela est traduit par l'intersection entre les habitats de ces entités. La vulnérabilité, quant à elle, représente l'habitat des hôtes sensibles (les zones habitées), l'intersection entre l'alea et la vulnérabilité (vecteur/réservoir/hôte sensible) donne le risque (Figure 6)

Nous avons également pris en compte la distance d'envol du vecteur depuis son gîte potentiel jusqu'à la rencontre avec le réservoir ou l'homme. Les travaux de marquage/lâcher/recapture de phlébotomes (Alexander, 1987) (Alexander et Young, 1992), (Schlein, 1987) variant dans leurs conclusions (de 200 à 700mètres), nous avons choisi la distance de vol maximale de 700 mètres.

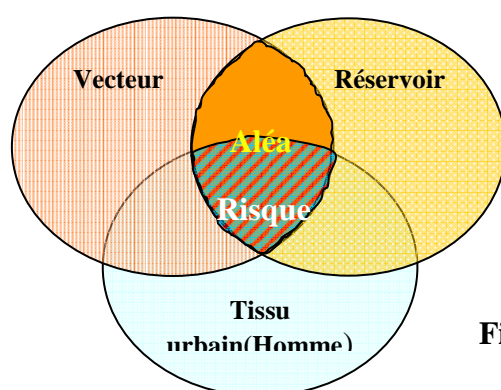


Figure 6 : Vulnérabilité, Aléa et

Variables	Leishmaniose à <i>L.Major</i>		Leishmaniose à <i>L.killicki</i>	
	<i>P.papatasi</i>	<i>Rongeurs de sables</i>	<i>P.sergenti</i>	<i>M.mzabi</i>
Végétation (ou proximité)	1 (Schlein, et al, 1999)	1	1 (Schlein, et al1999)	1 (Gouat, 1984, 1988)
Humidité	1 (Izri, et al, 2006)	1	1 (Adam J, 1960)	0 (Omari et al, 2007) (Poulet, 2004)
roche	0	0	1 (Adam J, 1960)	0
roche en pente	0	0	1	1 (Gouat, 1984, 1988)
Sols sableux	1	1	0	0

Tableau III : conditions de présence des leishmanioses à *L.major* et *L.killicki*

3 Résultats

3.1 Evaluation des indices dérivés de l'image SPOT

3.1.1 Indices de végétation

D'après les valeurs d'AUC, l'indice MSAVI2 (AUC = 0, 88) serait moins bon que le NDVI (AUC = 0, 93 supérieure à celle du MSAVI2 (Annexe 3, figure 3). Cependant le seuil donné par la courbe ne fait pas apparaître la végétation présente sur le lit des rivières qui constitue des gîtes potentiels pour les rongeurs réservoirs de la leishmaniose et des phlébotomes vecteurs (Figure 7). L'indice MSAVI2 a donc été retenu malgré une AUC moindre que le NDVI, l'AUC étant dépendante des points de validation sélectionnés qui n'étaient pas localisés dans les lits des rivières.

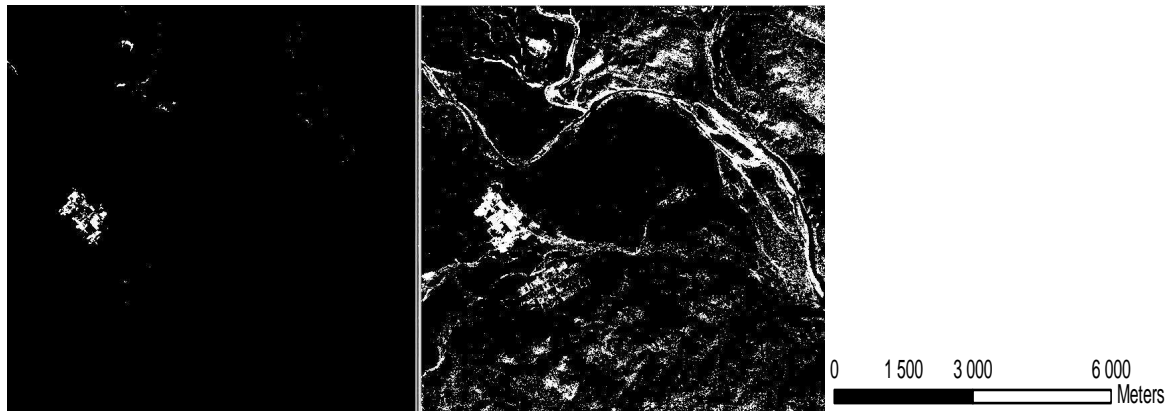


Figure 7 : comparaison entre NDVI (image de gauche) et MSAVI2 (image de droite)

3.1.2 Indices de texture

L'AUC de l'indice de texture est nettement plus élevée que celui de l'indice de cuirasse (0.954 contre 0.347) (Annexe 3, figure 4). Bien que l'indice de cuirasse permette visuellement de distinguer le bâti des autres structures, le risque de confusion avec le sol est élevé du fait que la plupart des matériaux de construction sont naturels et issus des carrières proches. L'indice de texture a donc été retenu pour cartographier les zones urbaines.

3.2 Validation de la classification

L'arbre de décision retenu a permis de tracer à partir des indices calculés (Annexe 5 figure : 6, 7, 8, 9,) une carte de classification globale (Annexe 5, Figure 11), la validation s'est faite par indice kappa en prenant des zones de référence comme jeu de validation. L'indice kappa issu de cette classification est de 0,98 qui traduit une très bonne classification de la végétation, des sols et des zones urbaines.

3.3 Aléa, vulnérabilité et risque

3.3.1 Habitats des rongeurs et les vecteurs associés

En se basant sur les critères cités dans la partie matériel et méthodes nous avons obtenu grâce aux outils qu'offre ArcGis les cartes de distributions des vecteurs et des rongeurs pour chaque forme cutanée, et ainsi obtenir l'aléa par intersection entre les habitats du réservoir et du vecteur.

L'aléa relatif à la leishmaniose à *L.major* semble plus important que celui de *L.killicki* dont la répartition confinée est étroitement lié aux zones rocheuses et aux piedmonts des montagnes qui bordent la vallée du Mzab (Figure 8).

Le risque de transmission de la leishmaniose cutanée a été élaboré à partir de l'intersection entre les aires de distribution des rongeurs et des vecteurs associés déterminant l'aléa et le tissu urbain (vulnérabilité) (Figure9). Le risque calculé suggère que la plupart des cas sont à

L.major et situés essentiellement à l'intérieur de la ville, les cas de leishmaniose à *L.killicki* sont situés quant à eux en bordures de ville et les piémonts des montagnes.

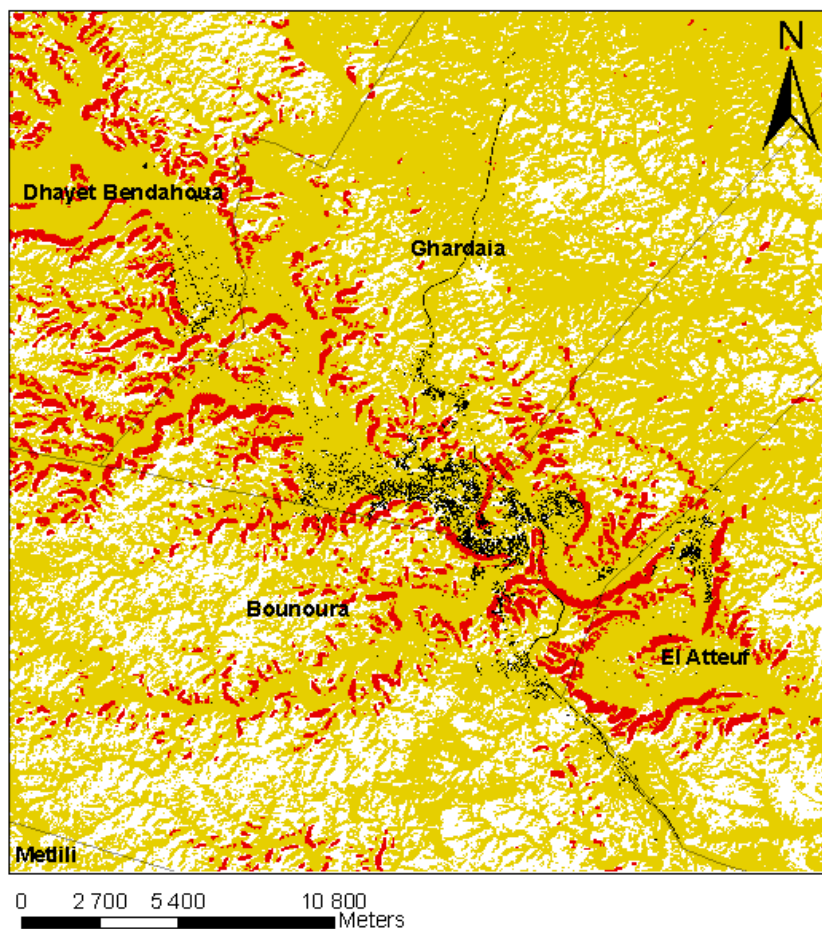


Figure 8 : Carte d'aléa de la zone d'étude

- Aléa à *Leishmania killicki*
- Aléa à *Leishmania major*
- Zones indemnes
- Tissus urbain

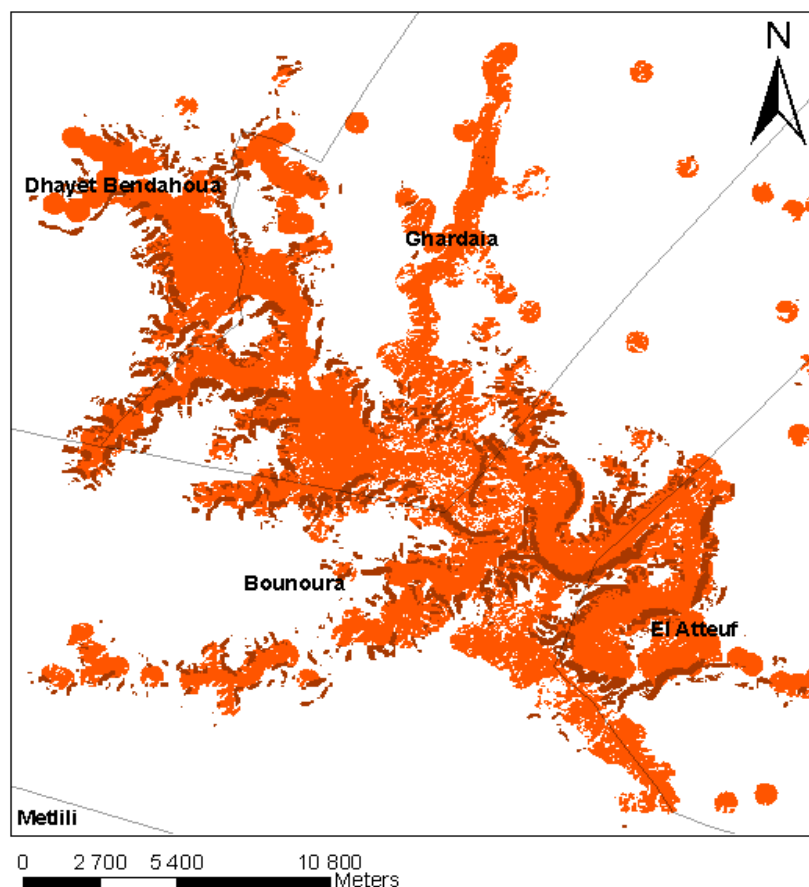


Figure 9 : Carte de risque de la distribution de la leishmaniose cutanée dans la zone d'étude

- Aléa à *Leishmania killicki*
- Aléa à *Leishmania major*

3.3.2 Validation des cartes d'aléa et de risque :

Les données concernant les captures de phlébotomes et les données épidémiologiques ont été utilisés pour la validation. Les données entomologiques ont été comparées aux cartes de distribution des vecteurs, et les données épidémiologiques ont été comparées aux cartes de risques.

3.3.2.1 Données entomologiques et cartes d'habitats des vecteurs

Malheureusement, nous n'avons pas les informations détaillées sur les captures effectuées (dates, nombre par date, condition climatique...) ce qui biaise les tests statistiques. Nous avons donc uniquement considéré l'information de présence ou d'absence de chaque espèce, et calculé pour chaque point de piégeage des phlébotomes la distance aux zones d'habitat des vecteurs correspondants. Les points d'absence de *P.sergenti* sont plus éloignés que les points de présence, et tous les points de *P.papatasi* sont très proche (<22 m) des zones d'habitats vecteurs, ce qui est donc en faveur d'une bonne estimation des aires de répartition prédites des vecteurs (Annexe 3 figure 12)

3.3.2.2 Données épidémiologiques et cartes de risque de LC

Les données épidémiologiques concernent les malades habitant la zone d'étude, mais aucune information n'est disponible sur l'adresse exacte du malade ainsi que la date d'apparition de la lésion et l'espèce de leishmania incriminée, ce qui rend l'interprétation de ces données difficile.

La figure 13 (annexes 6) montre que le nombre de cas diminue en fonction de la distance aux zones à risque. Ainsi, les probabilités de présence (estimés en distances des zones à risque) de *L.major* est en concordance avec les cas de leishmanioses recensés. Le même cas de figure est observé pour *L.killicki* mais seulement jusqu'à une distance de 300 mètres (Annexe 6, Figure 14), ce qui suggère que les cas de *L.killicki* sont beaucoup moins nombreux que ceux de *L.major*, et que les cas observés à plus de 300 mètres des zones à risque de *L.killicki* sont des cas à *L.major*.

4 Discussion et perspectives

Cette étude est une première approche pour cartographier le risque de transmission de la leishmaniose cutanée dans la région de Ghardaïa en Algérie, elle est basée sur la distribution des éléments connus du cycle de transmission de chacune des deux espèces *L.major* et *L.killicki*.

Les zones d'aléa de la leishmaniose à *L.major* sont plus larges que celles à *L.killicki*. Par construction, les zones d'aléa à *L.major* sont liées aux zones de végétation, qui sont

abondantes sur un sol meuble et irrigué ou humide (cultures, palmeraies, végétation sauvage). Toutefois cette estimation est peut être sur-évaluée à cause du manque d'information sur la nature des sols non rocheux, et l'humidité des sols. Le risque quant à lui (aléa * vulnérabilité) est important dans les palmeraies et les zones qui bordent l'oued (Rivière) du M'azb qui traverse la ville mais faible à l'intérieur de la ville. La présence de cas dans les zones indemnes pourrait être expliquée par le fait que beaucoup de personnes pratiquent l'agriculture ou ont une maison secondaire dans les palmeraies avoisinantes, malheureusement cette information est absente des données épidémiologiques.

L'aléa de la leishmaniose à *L.killicki* est plus restreint et limité aux espaces rocheux qui bordent la ville, cette limitation de l'aire est associée aussi au manque de nourriture sur les flancs de montagne influant sur la distribution du Rongeur *M.mzabi*.

La distribution du risque de leishmaniose à *L.killicki* est limitée aux habitations en bordure la ville qui sont généralement des maisons précaires, mais aussi les nouvelles constructions qui sont bâties aux interstices des montagnes et aux sommets, entrant donc dans la zone où cycle sauvage de la leishmaniose à *L.killicki* est entretenu, causant ainsi des pics de cas à chaque peuplement de ces zones.

Les régions indemnes où l'aléa/risque est absent sont des régions désertiques (dunes, plateaux rocheux), sans végétation, sèches ne permettant pas le développement des rongeurs mais aussi des zones habitées à l'intérieur de la ville où les rongeurs réservoirs ne peuvent pas vivre (activité humaines importante), soulignant ainsi le caractère zoonotique des leishmanioses cutanée dans la région de Ghardaïa.

La leishmaniose en Algérie reste un énorme problème en santé publique tant par l'aspect clinique, que par l'aspect économique, dans un contexte où le relâchement des mesures de surveillance et de lutte contre les leishmanioses dans les départements à risque peut engendrer des pics épidémiques très importants (30000 cas déclarés en 2005).

Nos résultats montrent que la distribution de la leishmaniose à *L.major* est plus étendue que celle de *L.killicki*. L'extension constante de la ville vers les vallées avoisinantes et les piedmonts surtout depuis les inondations de 2008 a engendré des cas de leishmaniose dans ces nouvelles agglomérations qui sont probablement dues à *L.killicki*, d'autres investigations (typage par biologie moléculaire, confirmation du potentiel réservoir de *M.mzabi*) doivent être entreprises pour élucider le cycle de transmission de la leishmaniose à *L.killicki* et aussi intégrer d'autres données à évolution temporelle (température, précipitation) afin d'évaluer l'évolution de l'aléa de la transmission de la LC

Cette étude pourrait être un bon outil et devrait être incluse dans le programme de surveillance et de lutte contre les leishmanioses en servant d'appui aux autorités locales pour prendre les mesures nécessaires en matière de lutte antivectorielle, et d'assainir les zones d'aléa qui pourraient devenir des lieux d'habitations (extension de la ville) prévenant ainsi et luttant contre ce fléau.

L'évaluation du risque sur d'autres scènes spot (juillet 2011), permet d'évaluer l'évolution du risque de la transmission. Une évolution du risque de transmission de la leishmaniose est à étudier en utilisant d'autres cartes (Scène Spot juillet 2011), la corrélation corrélée avec les données épidémiologiques.

5 Conclusion

Cette étude nous a permis de déterminer le risque de transmission de la leishmaniose cutanée dans la région de Ghardaïa en Algérie, elle est basée sur la distribution des éléments du cycle de transmission de chacune des deux espèces *L.major* et *L.killicki*. Les cartes de risque résultantes fournissent une information spatiale sur la distribution de ces deux espèces, en dissociant aléa et risque, mais doivent être validées par des données entomologiques et épidémiologiques plus précises. La démarche développée pourrait alors être appliquée comme un outil pour la surveillance et la lutte contre les leishmanioses.

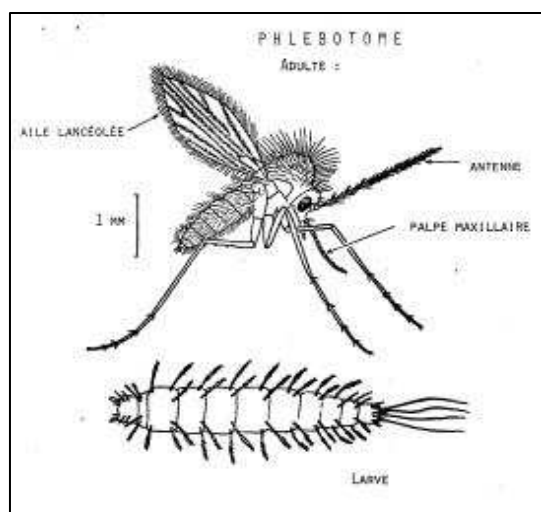
6 Bibliographie

- 1- Anys, H., A. Bannari, D. C. He, and D. Morin, Texture analysis for the mapping of urban areas using airborne MEIS-II images. Proceedings of the First International Airborne Remote Sensing Conference and Exhibition, Strasbourg, France, Vol. 3, pp. 231-245, 1994.
- 2- Alexander, J. B. 1987 Dispersal of phlebotomine sand flies (Diptera: Psychodidae) in a Colombian coffee plantation., *Journal of medical entomology* 24, 552–8.
- 3- Alexander B, and D G.young. 1992 Dispersal of phlebotomine sand flies (diptera: psychodidae) in a colombian focus of Leishmania (Viannia) brasiliensis, *Mem. Inst. Oswaldo Cruz* 87, 397–403.
- 4- Bannari, a., Morin, D., Bonn, F., and Huete, a. R. 1995 A review of vegetation indices, *Remote Sensing Reviews* 13, 95–120.
- 5- Belazzoug S. 1983- Isolation of Leishmania major Yakimoff & Schokhor, 1914 from Psammomys obesus Gretzehmar, 1828 (Rdentia: Gerbillidae) in Algeria. Trans. Roy. Soc. Trop. Med. Hyg. 77, 876.
- 6- Belhadj-Aissa A, Belhadj-Aissa M et Smara Y, 2000.La télédétection en Francophonie : analyse critique et perspectives. Éd. AUF. p. 333-341
- 7- Benikhlef, R., Harrat, Z., Toudjine, M., Djerbouh, A., Braham-Bendali, S., and Belkaid, M. (2004) Présence de Leishmania infantum MON-24 chez le chien, *Med Trop* 64, 381–383.
- 8- Boubidi, S. C., Benallal, K., Boudrissa, A., Bouiba, L., Bouchareb, B., and Garni, R. 2011 Phlebotomus sergenti (Parrot , 1917) identified as Leishmania killicki host in Ghardaïa , south Algeria, *Microbes and Infection*, Elsevier Masson SAS 13, 691–696.
- 9- Boukraa, S., Boubidi, S., and Zimmer, J. 2011 Surveillance des populations de phlébotomes (Diptera: Psychodidae), vecteurs des agents responsables des leishmanioses dans la région du M’Zab-Ghardaïa (Algérie), *Entomologie faunistique* 63, 97–101.
- 10- Boussaa, P. S. 2008 Epidémiologie des leishmanioses dans la région de Marrakech , des Phlébotomes et caractérisation moléculaire de leurs population . Thèse Présentée pour obtenir le grade de Docteur de l ’ université Louis Pasteur Strasbourg I.181
- 11- Caloz, R. et Collet, C. 2001 Précis de Télédétection, vol. 3 : Traitements numériques d’images de télédétection. Presses de l’Université du Québec et Agence universitaire de la Francophonie, Sainte-Foy, 386 .
- 12- Carre N, Collot M, Guillard P, Horellou M, J.-P. G. 2010 La leishmaniose viscérale Epidémiologie, diagnostic, traitement et prophylaxie, *Journal de pharmacie clinique* 29, 121–148.
- 13- Cinnamon, J. and N. Schuurman, Injury surveillance in low-resource settings using Geospatial and Social Web technologies. International Journal of Health Geographics, 2010. 9(1): p. 25.

- 14- Crist, E.P., and R.C. Cicone, 1984. A physically-based transformation of Thematic Mapper data – The TM Tasselled Cap, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, Vol. GE-22, No. 3.
- 15- COHEN J - A coefficient of agreement for nominal scales. *Educ Psychol Meas* 1960; 20: 27-46.
- 16- Dedet JP, Addadi KI, and Belazzoug S. 1984 Les phlébotomes(diptera, Psychodidae) d'Algérie, *Ent med et parasitol* 22, 99–126.
- 17- Dereure. J, 1999. Réservoirs des leishmanies. Les leishmanioses. Ellipses. 249, 109-127.
- 18- Gouat P.1991 Adaptation comportementale à la température chez trois espèces de Cténodactylidés sahariens, *le rongeur et l'espace* 79–89.
- 19- Gouat P, J.Gouat, and J.Coulon.1984Répartition et habitat de *Masoutiera mzabi* (rongeur cténodactylidé) en Algérie, *mammalia* 48, 352–362.
- 20- Guyot, Gérard 1989: Signatures spectrales des surfaces naturelles. Collection «Télédétection satellitaire no 5 », Paradigme, Caen, 178 p.
- 21- Haralick, R.M., Dinstein, I., & Shanmugam, K. 1973. Textural features for image classification. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, 3, 610-621
- 22- Harrat, Z., Pratlong, F., Belazzoug, S., Dereure, J., Deniau, M., Rioux, J. A., Belkaidl, M., and Dedet, J. P. 1996 *Leishmania infantum* and *L.magor* in Algeria, *trans Royal Soc trop med Hyg* 90, 625–629.
- 23- Harrat, Z., Boubidi, S. C., Pratlong, F., Benikhlef, R., Selt, B., Dedet, J. P., Ravel, C., and Belkaid, M. 2009 Description of a dermatropic *Leishmania* close to *L. killicki* (Rioux, Lanotte & Pratlong 1986) in Algeria., *Transactions of the Royal Society of Tropical Medicine and Hygiene* 103, 716–20.
- 24- Ivits, E., Lamb, A., Langar, F., Hemphill, S., and Koch, B. 2008 Orthogonal Transformation of Segmented SPOT5 Images: Seasonal and Geographical Dependence of the Tasselled Cap Parameters, *photogrammetric engineering & remote SENSING* 74, 1351–1364.
- 25- Izri, M. A., Belazzoug, S., Pratlong, F. & Rioux, J. A.1992. Isolement de *Leishmania major* chez *Phlebotomus papatasi* à Biskra (Algérie) : fin d'une épopée éco épidémiologique *Ann Parasito Hum Comp*, 67, 31-32.
- 26- kamhawi S, G. B.modi, P. F. P. pimenta, E. R. and D. L. S. 2000 The vectorial competence of *Phlebotomus sergenti* is specific for *Leishmania tropica* and is controlled by species-specific , lipophosphoglycan-mediated midgut attachment, *parasitology* 121, 25–33.
- 27- Leger. N., Deparquit. J, 1999. Les phlébotomes. Les leishmanioses. Ellipses. 249 89-108
- 28- Metz, C.1978. Basic principles of roc analysis. In *Seminars in Nuclear Medicine*,3

- 29- Rouse, J. W., Haas, R. W., Schell, J. A., Deering, D. W. and Harlan, J. C. 1974 Monitoring the vernal advancement and retrogradation (Greenwave effect) of natural vegetationa NASA/GSFCT Type III Final Report, Greenbelt, MD, USA
- 30- Nguessan N, Mf Bellan, and F Blasco. 2003 Suivi par télédétection spatiale d'une forêt tropicale humide protégée, *teledetection* 3, 443–456.
- 31- Qi, J., Chehbouni, a., Huete, a. R., Kerr, Y. H., and Sorooshian, S. 1994 A modified soil adjusted vegetation index, *Remote Sensing of Environment* 48, 119–126.
- 32- Scanvic, J. Y., Pion, J. C. 1996. « La télédétection en géologie :applications thématiques ». *Précis de télédétection*, vol. 2. Pressede l'université du Quebec, Sainte Foy, Canada, pp 16-56.
- 33- Schlein, Y. (1987) Marking of Phlebotomus papa& (Diptera: Psychodidae) by feeding on sprayed, coloured sugar bait: a possible means for bebavioural and control studies, *trans Royal Soc trop med Hyg* 81, 599.
- 34- Seong Ho Park, Jin Mo Goo, and Chan-Hee Jo. 2004 Receiver Operating Characteristic (ROC) Curve□: Practical Review, *Korean J Radiol* 5, 11–18.
- 35- Soti, V., Tran, A., Bailly, J.-S., Puech, C., Seen, D. L., and Bégué, A. 2009 Assessing optical earth observation systems for mapping and monitoring temporary ponds in arid areas, *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 11, 344–351.
- 36- Sparfel L, Gourmelon F, and Le Berre I. 2008 approche orientée-objet de l ' occupation des sols en zone côtière 237–256.
- 37- Venard C, Delaitre E, Callot Y, Ouessar M, and Ouerchefani D. 2010 Exploitation d ' images satellitaires à très haute résolution spatiale fournies par google earth©.exemple d ' application à l'étude de l' ensablement d'oliveraies EN, *revue teledetection* 09, 59–71.

7 Annexes



Annexe 1 : Phlébotome adulte et larve

(<http://www.monfidelami.com/veterinaire/dog/la-leishmaniose-canine>)

Annexes 2 : Données de télédétection

Scènes	Date/heure	Résolution (mètres)	Bandes/longueur d'onde
Multispectral	13/10/2004 10:35:21 13/07/2010 10:18:21	10	verte, (0, 545µm) rouge (0, 645µm) proche infrarouge (0, 835.µm) moyen infrarouge (1, 665µm)
Panchromatique	13/10/2004 10:35:19	2, 5	une seule bande (0, 48 - 0, 71 µm)

(Tableau I) : caractéristiques des scènes SOPT fournies

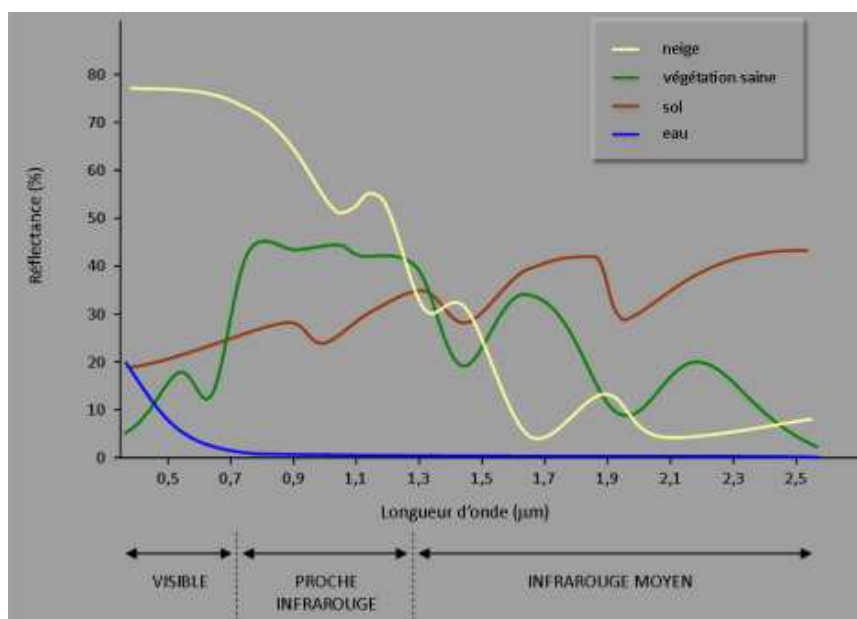


Figure 1 : Exemples de signatures spectrales des surfaces naturelles dans le domaine du visible, du proche infrarouge et de l'infrarouge moyen.

Annexe 3 : validation des indices

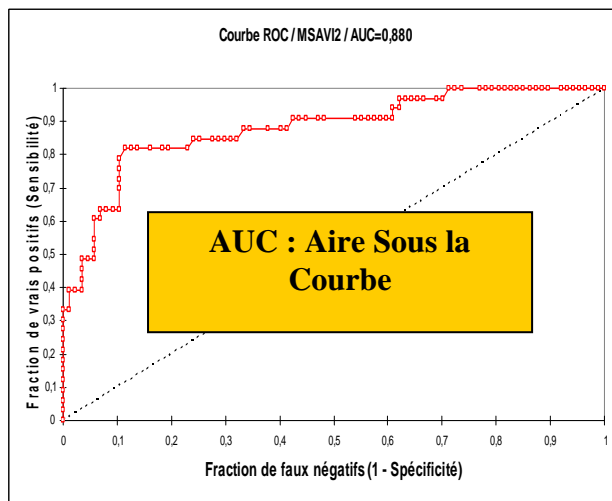


Figure 2 : exemple d'une Courbe ROC

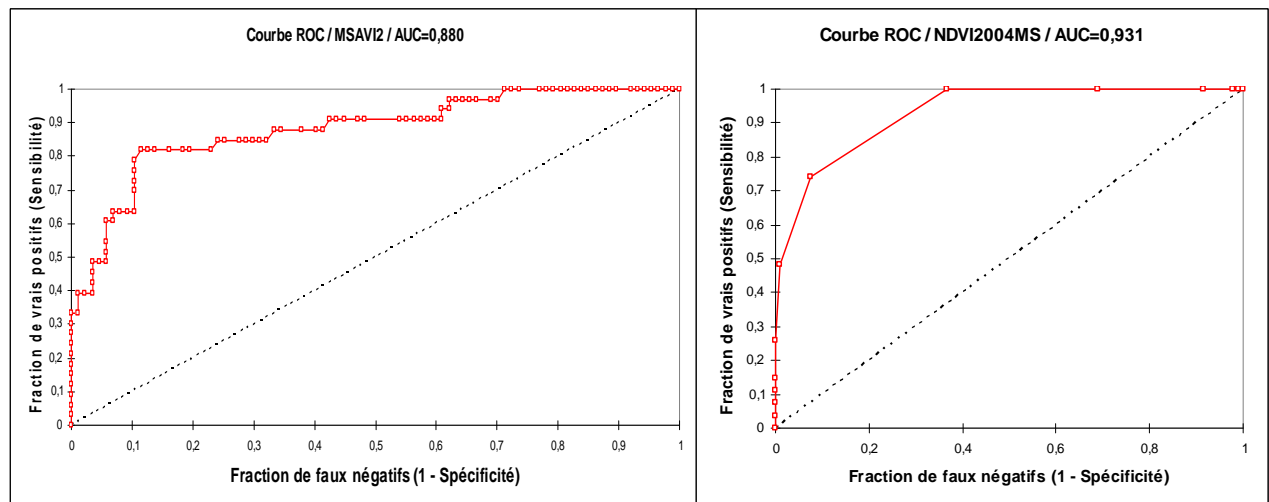


Figure 3 : Courbes de ROC des indice MSAVI et NDVI

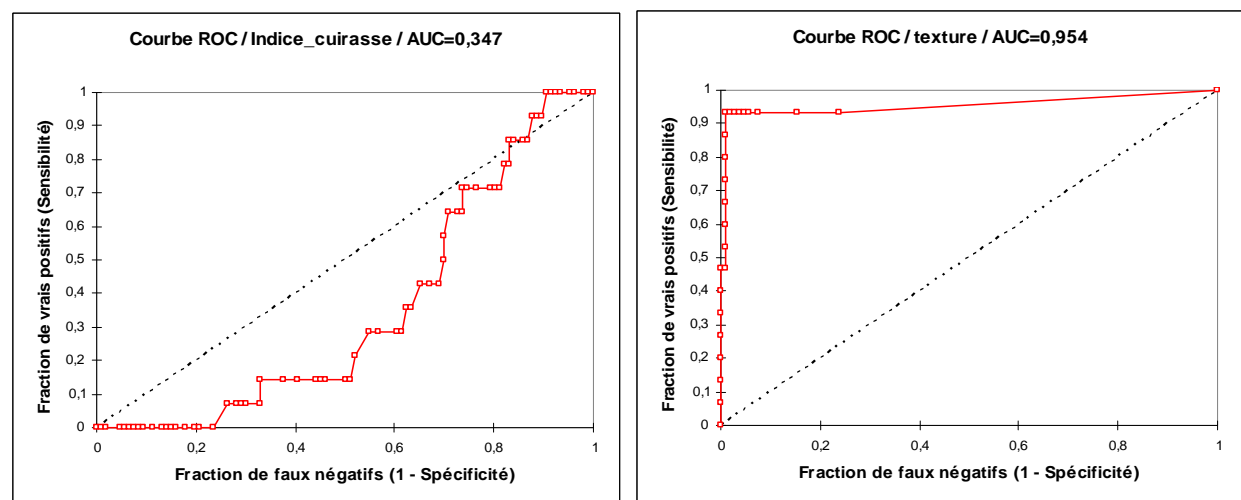
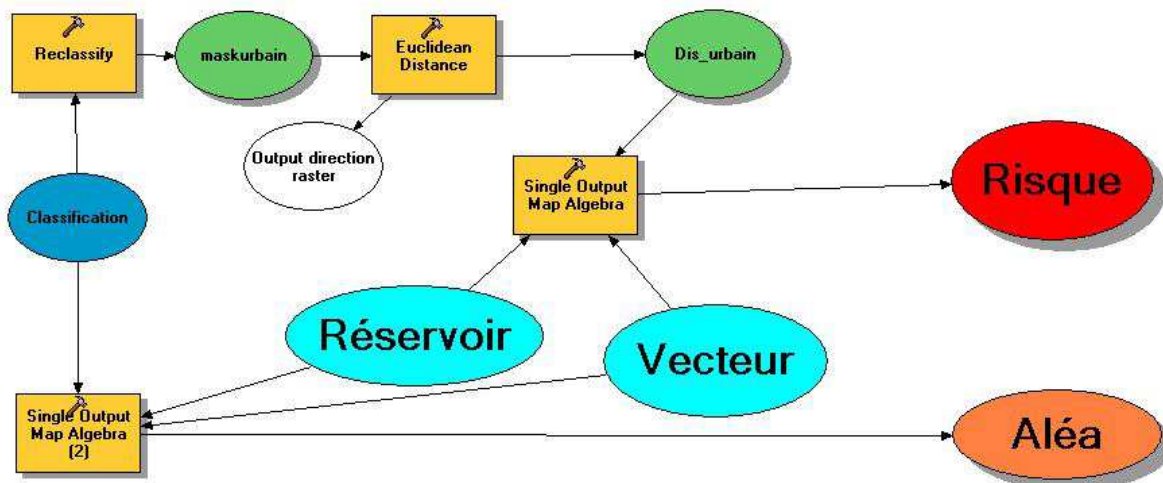


Figure 4 : Courbes de ROC des indice MSAVI et NDVI

Annexe 4 : Modèle de construction de l'aléa et du risque de *L.major* et *L.killicki* (ArcGIS Model builder)



Annexe 5 : Images des différents indices dérivés de l'image SPOT

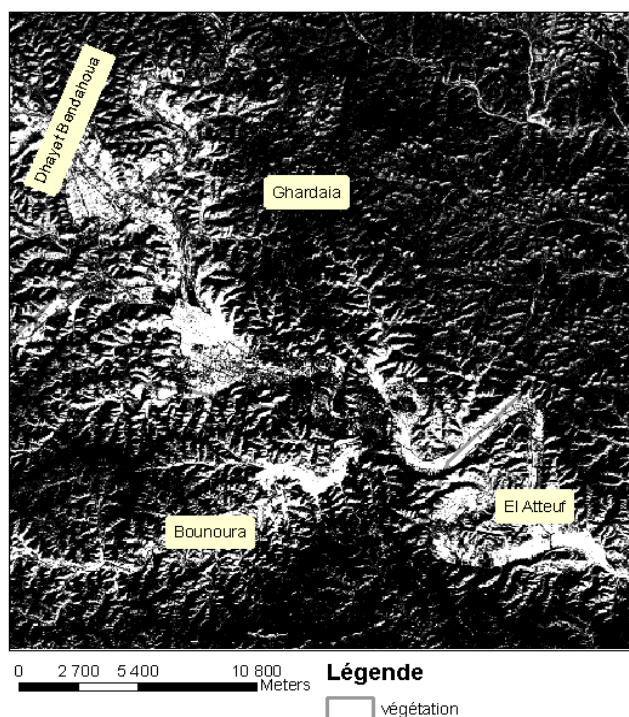


Figure 6 : Couverture végétal (indice MSAVI2) de la région de la ville de Ghardaïa

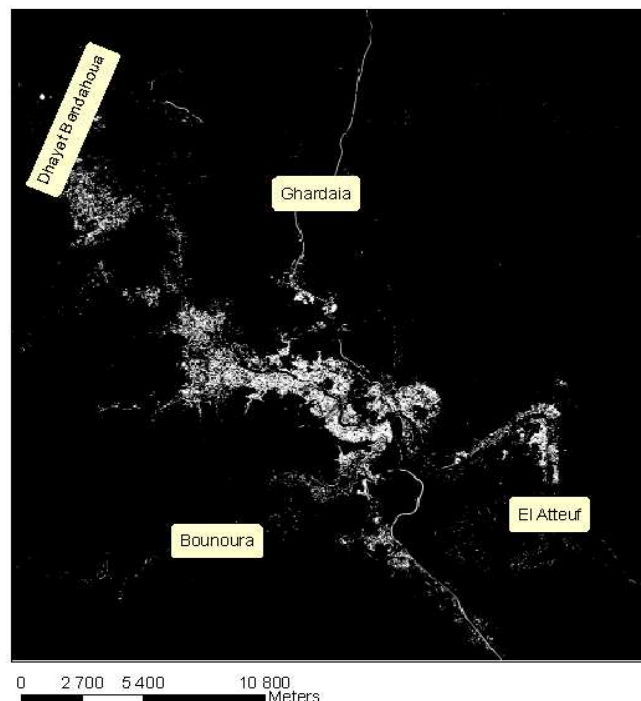
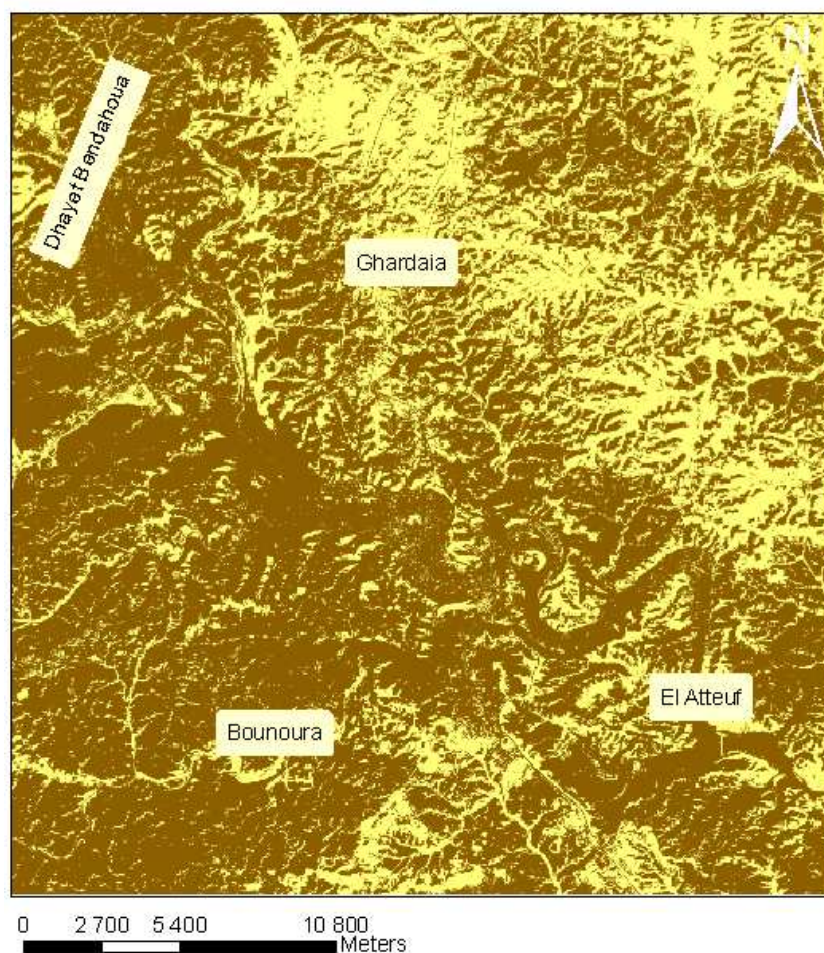


Figure 7 : Tissu urbain (matrice de cooccurrence) De la ville de Ghardaïa



**Figure 8 : Type de sols
(indice de brillance)**

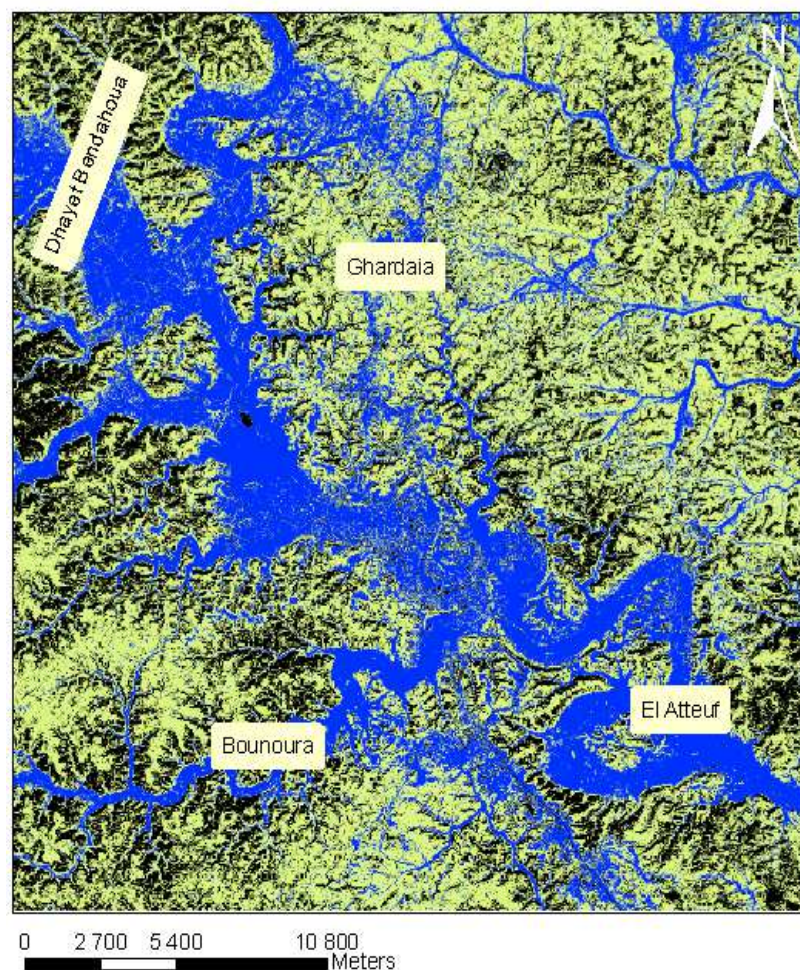
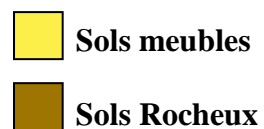
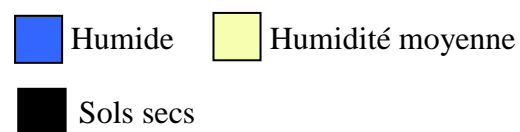


Figure 9 : Humidité (Tasseled Cap)



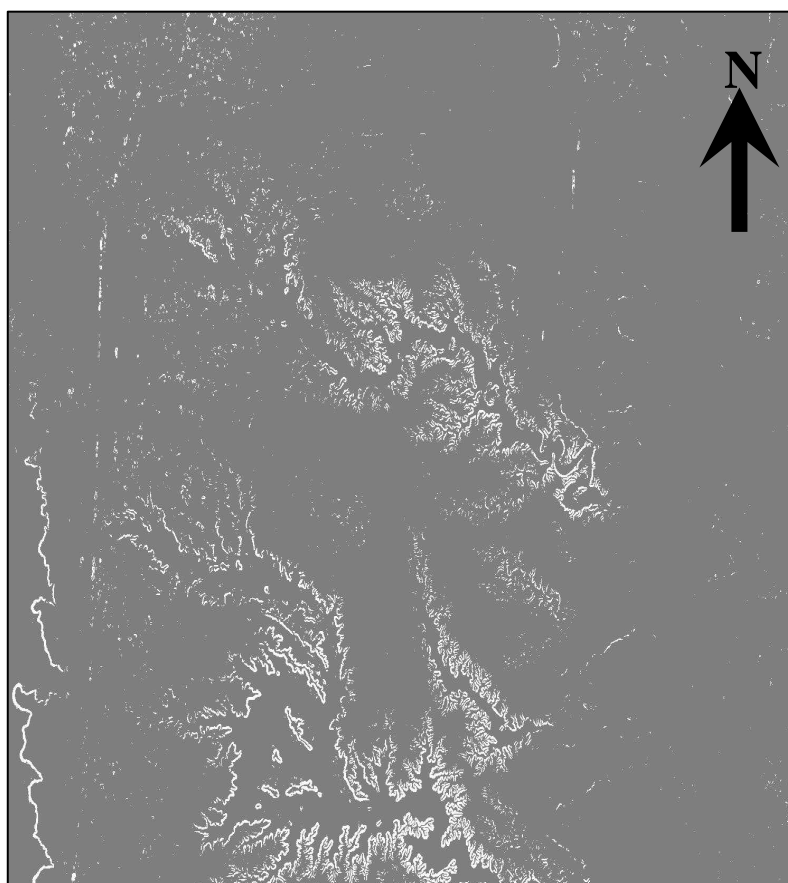


Figure 10 : pentes calculé du modèle numérique de terrain

Pente $>10^{\circ}$
 Pentes $<10^{\circ}$

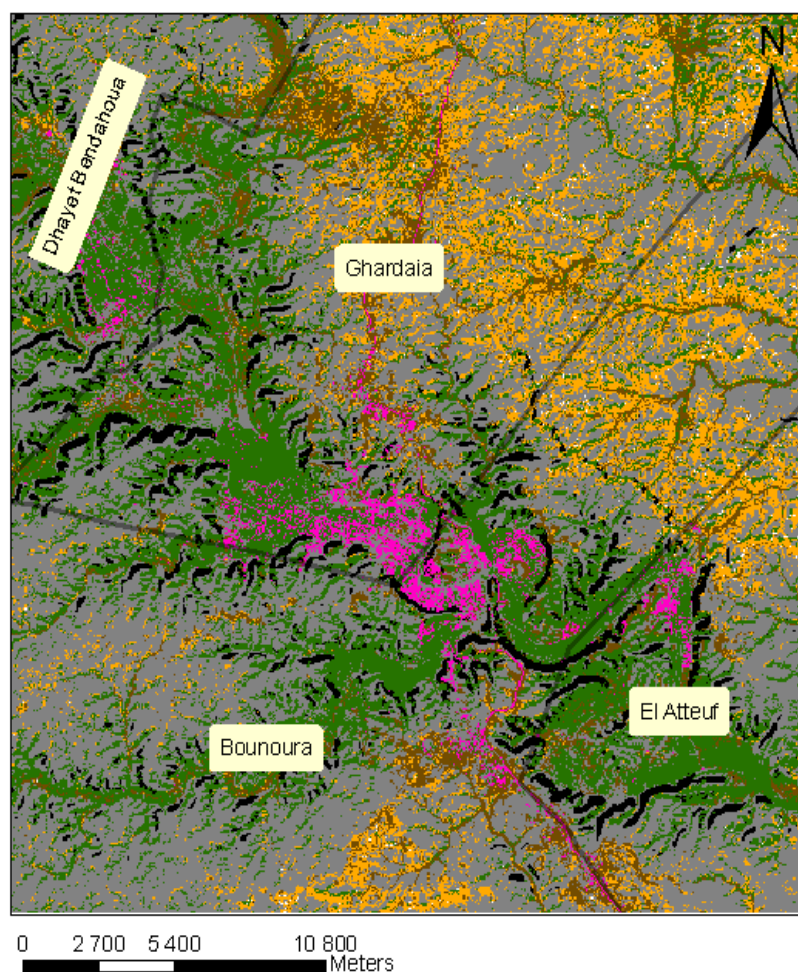


Figure 11 : classification globale de la région d'étude

Tissu urbain
 Végétation
 Sols humide
 Sols à humidité moyenne
 Sols secs
 Sols rocheux
 Roches en pente
 Limite des communes

Annexe 6 : validation des données

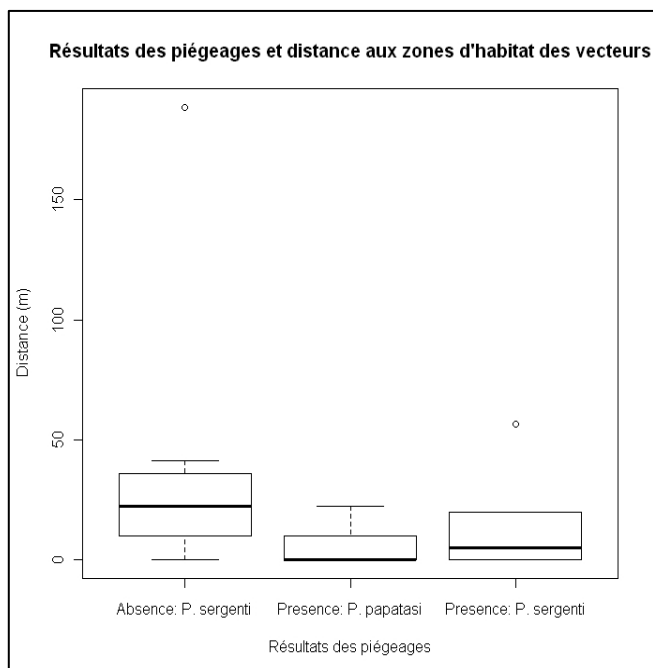


Figure 12 : résultats des piégeages et distance aux zones d'habitat du vecteur

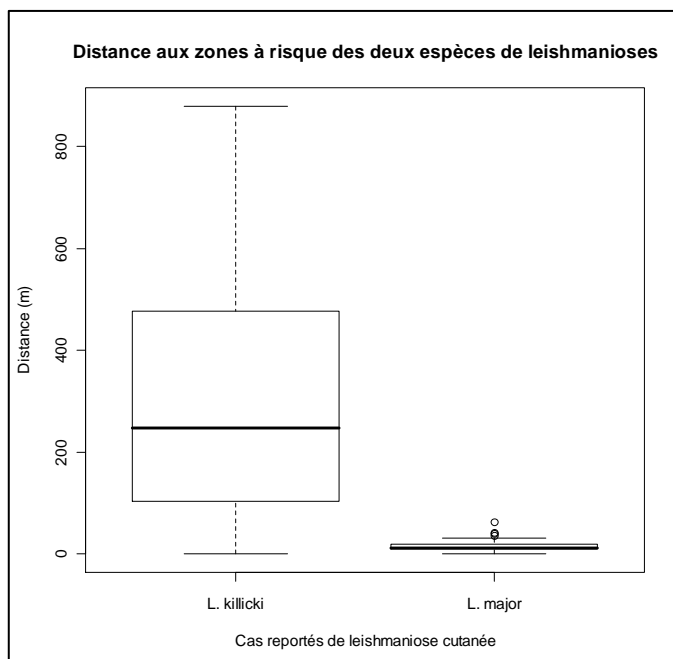


Figure 13 : Distance aux zones de risque des deux espèces de *Leishmania*

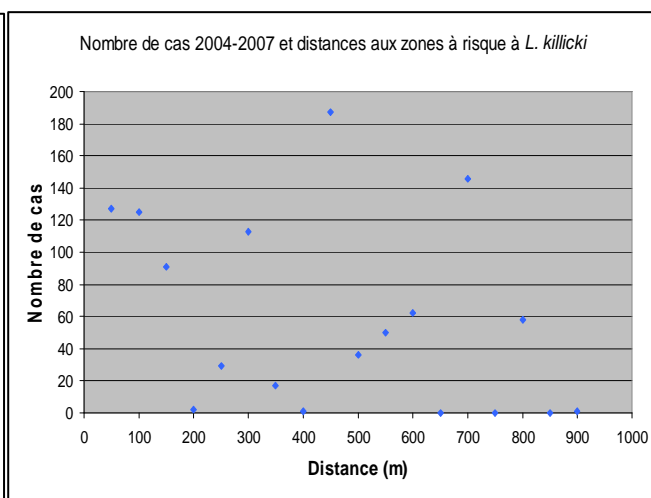
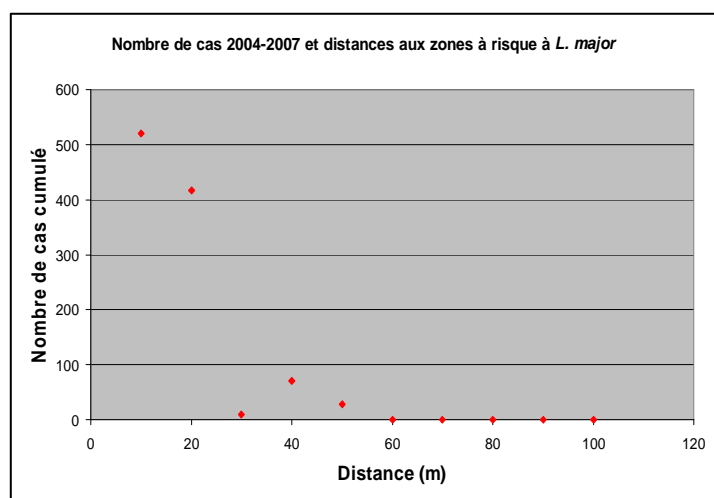


Figure 14 : Nombre de cas cumulés et distance des zones à risque de *L.major* et *L.killicki*

8 Etude du rôle réservoir des animaux domestiques dans le maintien de la transmission de la THA dans la région de Bonon en Côte d'Ivoire

8.1 Introduction

La trypanosomiase humaine africaine (THA) ou maladie du sommeil est une maladie des régions sub-saharienne du continent Africain, causée par deux sous espèces de trypanosomes et transmises par les mouches tsé-tsé (Diptera, Glossinidae),(Brun et all, 2010). Malgré les efforts fournis dans la lutte contre le THA, (Dje et all, 2002), la complexité des interactions hôte parasite, et hôte vecteur dans un environnement en mutation (Corbel et Henry, 2011) ainsi que certaine les limites des techniques de dépistage (Jamonneau ,2012) rend l'élimination un but difficile à atteindre.

En Côte d'Ivoire la THA est un problème de santé publique important, les modifications environnementales et les bouleversements sociaux ont affecté la zone forestière ivoirienne : modification du climat, crise économique grave (Courtin et all, 2005), Ces événements ainsi que l'instabilité politique que vit ce pays ont favorisé le maintien de sa transmission. Même si le dépistage est de règle sur les humains, il ne l'est pas du côté des animaux domestiques, qui selon beaucoup d'auteurs (Njiokou et all, 2006) (Cordon-Obras,2010) (Penchenier2005)(Gudegbe et all,1992)(Pollock,2005) peuvent être réservoirs potentiel de la THA en Afrique de l'ouest, ce qui a été prouvé en Afrique de l'est (Aksoy, 2011) (Ilboudou et all, 2011)

8.2 Objectif

Le but de cette proposition de projet est l'étude de la faune domestique et sauvage dans la région endémique de Bonon en Côte d'Ivoire dans l'espoir de trouver des indices sur l'implication des animaux dans le maintien de la transmission de la THA afin de prendre les mesures nécessaires en parallèle à la lutte antivectorielle ou les campagnes de dépistage et de traitement.

L'approche dans ce projet repose sur le screening et le suivi des espèces domestiques et/ou sauvage recensés, et de captures des mouches pour l'étude des préférences trophiques.

D'une durée de 3 ans, le projet est divisé en deux grandes parties : prospection/ prélèvement des animaux, capture de mouches à Bonon et culture des parasites, la deuxième partie est consacrée à suivis de l'infection expérimentale des souris de souches issues d'animaux positifs, analyse du repas des sangs des mouches et d'essayer de retracer le parasite (depuis l'animal jusqu'au glandes salivaires de la mouche)

Le projet fait appel aux compétences du Centre International de Recherche-Développement sur l'Elevage en zone Subhumide (CIRDES) à Bobo Dioulasso au Burkina Faso (infections expérimentales, biologie moléculaire et production de mouches d'élevage).

8.3 Matériel et méthodes :

8.3.1 Zone d'étude:

La ville de Bonon (sous-préfecture de la région de la Marahoué) (7°N, 6°W) est située à 60 kilomètres à l'Ouest de Yamoussoukro, la capitale politique du pays, Bonon est située en zone de forêt mésophile ivoirienne cependant, cette dernière a presque totalement disparu au profit de la culture du café et du cacao qui a permis une augmentation du contact homme vecteur (Courtin 2005) (Penchenier2005). Dans la ville de Bonon et à sa périphérie, de multiples petits élevages d'animaux domestiques existent, notamment constitués de cochons, caprins, ovins, et bovins.(Solano,2003)

3.2 Méthodologie :

3.2.1 Echantillonnage et collecte des données :

Première mission dans le foyer de Bonon pour :

- Prise de contact avec les autorités de la sous préfectures pour autoriser les prospections
- Choix des points d'échantillonnage (maisons, fermes)
- Contact des chefs de familles et des responsables de fermes/maisons

Après accord, une fiche signalétique sera remplie pour chaque point de collecte avec les informations suivantes:

- Code point
- Coordonnées géographiques
- Date
- Description du point de prélèvement (maison/ferme, état des lieux, environnement)
- Description de l'habitat
- Propriétaire de l'établissement ou chef de famille
- Espèces d'animaux domestiques présents
- Recensement des animaux par espèce
- Antécédents de cas de maladie du sommeil dans la famille ou dans la ferme (travailleurs)

Des missions seront organisées depuis Le CIRDES vers la région de Bonon :

- **Echantillonnage et prélèvement des animaux:**

Les animaux échantillonnés sont tagués (une bague portant un identifiant unique : Code/N° animal) Une fiche signalétique comprendra en information :

- Espèce de l'animal prélevé
- Sexe
- Etat général

3 techniques de dépistage seront réalisées :

- Trypanolyse sur place (kaboré et all, 2011) faites sur place
- Examen parasitologique (Cattand et all, 1988)(Lumsden et all,1979)
- PCR (Cordon-Obras,2010)(Moser, et all 1989) (Jamonneau et all, 2001) (Solano,2002)

Il sera demandé aux propriétaires des animaux de ne pas sacrifier ou vendre les animaux échantillonnés, ou au moins après le retour des résultats

Piégeage des mouches:

des pièges seront placés aux abords des points de prélèvement d'animaux, chaque piège porte l'identifiant du point de prélèvement le plus proche

La technique ELISA repas de sang sera pratiquée au CIRDES avec différents sérums (humain, cochon, bovidés, rongeurs sauvage...)

Une PCR est réalisée avec les amorces décrites par (Moser, et all 1989) pour identifier l'espèce

Capture d'animaux sauvages (petit rongeurs)

Par pose de pièges aux alentours des animaux domestiques et des maisons/fermes

Les mêmes prélèvements seront effectués, mais les animaux sont ramenés à l'animalerie du CIRDES où ils y seront entretenus et suivis

Suivi des animaux positifs et infection expérimentale

Les prélèvements positifs sont mises en culture (Carrington, M. 1993) (Cunningham,1977), les animaux positifs sont rachetés à leurs propriétaires et ramenés au CIRDES et y seront entretenus pendant une année, des prélèvements hebdomadaires de sang sont effectués pour une PCR quantitative afin d'évaluer le degré de parasitémie.

L'infection expérimentale des souris Balb/C ou Scid (selon disponibilité) (Inoue et all, 1998) (Carrington et all, 1993) à partir de sang d'animaux positifs est réalisée au CIRDES, ou surplace à Bonon si le trypanolyse. Les souris sont alors mises en contact avec des glossines d'élevage (CIRDES), les mouches gorgées sont disséqués après 4 semaines afin de rechercher les parasites dans les grandes salivaires (janelle et all,2009)

La Figure 1 résume la méthodologie adoptée dans ce projet

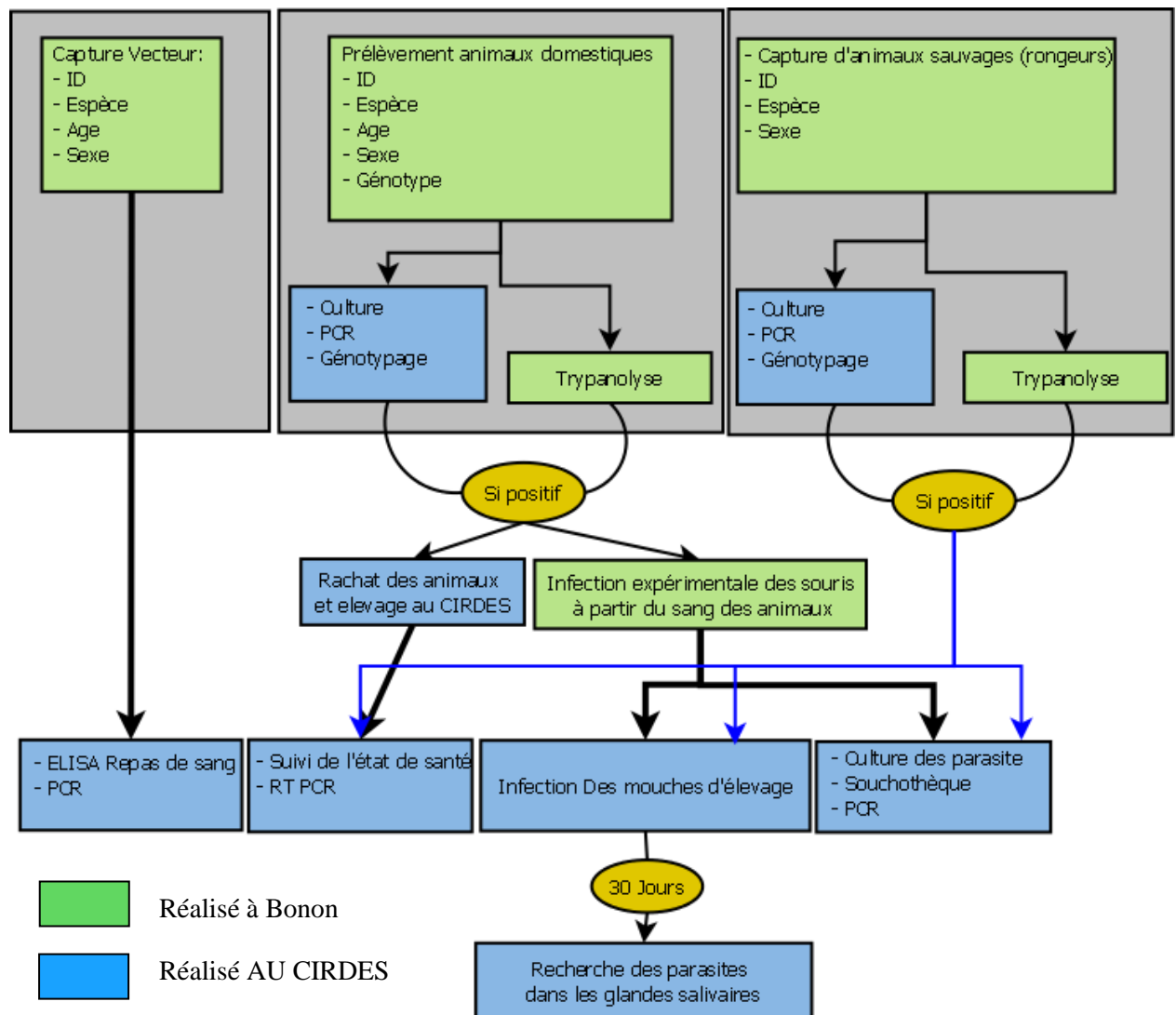


Figure 1 : Schéma récapitulatifs des actions à réaliser pendant le projet

8.4 Résultats attendus :

Ce projet permutera de prouver leur rôle de la faune domestique/sauvage comme réservoir dans la transmission et le maintien de la trypanosomiase dans la région de Bonon à travers les techniques et la méthodologie proposée.

Le screening des espèces domestiques /sauvages permet d'identifier les espèces potentiel, la PCR quantitative effectuée sur animaux échantillonnés reflétera l'évolution de la parasitémie, présents dans la région et aussi par espèce l'infection expérimentale des souris et des mouches d'élevage sera une preuve du potentiel réservoir des animaux,

L'étude de la distribution géographiques des cas permettra quant à elle de chercher d'éventuels agrégats des cas positifs et de les corréler avec les informations recueillis sur le milieu (faune, flore)

8.5 Perspectives :

Les résultats obtenus permettraient d'avoir une autre vue sur la THA pourraient être extrapolables sur d'autres régions, la mise en évidence du rôle réservoir des animaux élargira l'éventail de la lutte contre la THA en incluant des mesures prophylactiques pour protéger les animaux contre les piqures des mouches, cette action couplée avec les méthodes de lutte (dépistage, lutte antivectorielle) renforcera le programme de lutte contre cette maladie et limiterait son maintien.

8.6 Références Bibliographiques :

1. Aksoy S, 2011. Sleeping sickness elimination in sight: time to celebrate and reflect, but not relax., *PLoS neglected tropical diseases* 5, e1008.
2. Carrington, M, 1993. Culturing and biological cloning of *Trypanosoma brucei*., *Methods in molecular biology (Clifton, N.J.)* 21, 1-13.
3. Cattand P, Miézan BT & DE Raadtp, 1988. Human african trypanosomiasis: use of double centrifugation of cerebrospinal fluid to detect trypanosomes. *Bull Org Mond Sant*, 66, 83-86.
4. Corbel, V., and Henry, M.-C., 2011. Prevention and control of malaria and sleeping sickness in Africa: where are we and where are we going?, *Parasites & vectors*, 4, 37.
5. Brun R, Blum J, Chappuis F, Burri C, Human African trypanosomiasis, *Lancet* 375 148-159
6. Cordon-Obras, C., García-Estébanez, C., Ndong-Mabale, N., Abaga, S., Ndong-Asumu, P., Benito, A., and Cano, J, 2010. Screening of *Trypanosoma brucei* gambiense in domestic livestock and tsetse flies from an insular endemic focus (Luba, Equatorial Guinea)., *PLoS neglected tropical diseases* 4, e704.
7. Coulibaly B., and Solano G. Courtin P, 2005. Trypanosomose Humaine Africaine: transmission urbaine dans le foyer de Bonon en Côte d'Ivoire, *Tropical Medicine and International Health* 10, 340-346.
8. Courtin F, Dupont S, Zeze DG, Jamonneau V, Sané B, Coulibaly B, Cuny G, and Solano P, 2005. Trypanosomose Humaine Africaine : transmission urbaine dans le foyer de Bonon (Côte d'Ivoire), *Tropical Medicine and International Health* 10, 340-346.
9. Cunningham, I., 1977. New culture medium for maintenance of tsetse tissues and growth of trypanosomatids. *J. Protozool.* 21, 325-329.
10. Dje NN, Miezan T W, P, N., P, B., F, D., and F, B, 2002. Distribution géographique des trypanosomés pris, *Bull Soc Pathol Exot* 95, 359-361.
11. Gudegebe B, Verhuslt A, Van Meirvenne N, Pandey VS, and Doko A, 1992. Indication sérologique animaux réservoirs.pdf, *Ann Soc belge med trop* 72, 113-120.
12. Ilboudou H, Jamonneau V, Camara M, Camara O, Dama C, Leno M, Ouendeno F, Courtin F, Sakande H, Sanon R, Kaboré J, Coulibaly B, Ndri L, Diarra A, Ngoran E, and Bucheton B, 2011. Diversity of response to *Trypanosoma brucei* gambiense infections in the Forécariah mangrove focus (Guinea): perspectives for a better control of sleeping sickness., *Mic inf* 13, 943-52.
13. Inoue, N., Narumi, D., Mbati, P. a, Hirumi, K., Situakibanza, N. T., and Hirumi, H. (1998) Susceptibility of severe combined immuno-deficient (SCID) mice to *Trypanosoma brucei* gambiense and *T. b. rhodesiense*., *TM & IH* 3, 408-12.

14. Jamonneau V, Solano P, and Cuny G, 2001.Utilisation de la biologie moléculaire dans le diagnostic de la trypanosomose humaine africaine, *Med Trop* 61, 347–354.
15. Janelle, J., Koffi, M., Jamonneau, V., Patrel, D., Cuny, G., and Ravel, S, 2009. Monitoring the pleomorphism of *Trypanosoma brucei gambiense* isolates in mouse: impact on its transmissibility to *Glossina palpalis gambiensis*., *Infection, genetics and evolution*: 9, 1260-1264.
16. Kaboré, J., Koffi, M., Bucheton, B., MacLeod, A., Duffy, C., Ilboudo, H., Camara, M., De Meeûs, T., Belem, A. M. G., and Jamonneau, V, 2011.First evidence that parasite infecting apparent aparasitemic serological suspects in human African trypanosomiasis are *Trypanosoma brucei gambiense* and are similar to those found in patients., *Infection, genetics and evolution*:11, 1250-5.
17. Lumsden WHR, Kimber CD, Evans DA & Doig J 1979: *Trypanosoma brucei*: miniature anion exchange centrifugation technique for detection of low parasitemias; adaptation for field use. *Trans Roy Soc Trop Med Hyg*, 73, 312-317
18. Moser D.R., Cook G.A., Ochs D.E., Bailey C.P., McKane, M.R. & Donelson J.E, 1989. Detection of *Trypanosoma congolense* and *Trypanosoma brucei* subspecies by DNA amplification using the polymerase chain reaction.*Parasitology*, 99, 57-66.
19. Njiokou, F., Laveissière, C., Simo, G., Nkinin, S., Grébaut, P., Cuny, G., and Herder, S, 2006.Wild fauna as a probable animal reservoir for *Trypanosoma brucei gambiense* in Cameroon., *Infection, genetics and evolution: journal of molecular epidemiology and evolutionary genetics in infectious diseases* 6, 147-53.
20. Penchenier, L., Alhadji, D., Bahébégué, S., Simo, G., Laveissière, C., and Cuny, G, 2005.Spontaneous cure of domestic pigs experimentally infected by *Trypanosoma brucei gambiense*. Implications for the control of sleeping sickness., *Veterinary parasitology* 133, 7-11.
21. Pollock JN, 2005.Bulletin d'information sur les glossines et les typanosomoses, FAO., p 106, Rome.
22. Solano P, Kone A, Garcia A, Sane A, Michel V, Michel JF, Coulibaly B, J. V., B, K., and S, D, 2003.Article original Représentation spatiale des déplacements des malades dans un foyer de trypanosomose humaine africaine de Côte d'Ivoire, *Med Trop* 63, 577-582.
23. Solano P, Jamonneau V, N'Guessan P, *et al*, 2002. Comparison of different DNA preparation protocols for PCR diagnosis of human trypanosomiasis. *Acta Trop*; 82 : 349-56.
24. Jamonneau, V., Solano, P., Koffi, M., Denizot, M., and Cuny, G, 2012.Apports et limites du diagnostic de la trypanosomiase humaine africaine, *med scien* 20, 871–875